



ANNALES

DES

SCIENCES NATURELLES

SIXIÈME SÉRIE

BOTANIQUE

RECHERCHES

SUR

L'ANATOMIE COMPARÉE DES COTYLÉDONS

ET DE L'ALBUMEN

Par M. J. GODFRIN,
Chargé de cours à l'École supérieure de pharmacie de Nancy.

INTRODUCTION.

L'objet de ce mémoire, qui m'a été inspiré par M. Van Tieghem, est la morphologie comparée des cotylédons, depuis le moment où ils apparaissent à l'extrémité du corps embryonnaire, sous forme de protubérances visibles à l'œil nu ou à la loupe, jusqu'à celui où cesse leur existence.

L'histoire du cotylédon sera divisée naurellement en trois parties : 1° développement jusqu'à la maturité; 2° état de maturité ou de vie latente ; 3° développement depuis la mise en germination jusqu'à la chute du cotylédon.

Dans une étude anatomique, la fin de la germination, qui, d'après tous les auteurs, arrive au moment où les substances mises en réserve sont épuisées, où l'embryon vit du produit de son activité assimilatrice, ne devait pas m'arrêter, et je devais continuer mes recherches jusqu'au terme de l'existence du cotylédon, lorsqu'aucun changement ne se manifeste plus en lui, et où, flétri, il se détache de la jeune plante.

Je néglige l'observation des premiers âges de l'embryon, des premières divisions cellulaires qui ont lieu dans le sac embryonnaire pour le former, parce que ce sujet a déjà été suffisamment étudié (1). Je ne m'arrête non plus à la forme extérieure

(1) Voy. Tulasne, *Études d'embryogénie végétale* (*Ann. des sc. nat.*, 3e série, XII, 1849, et 4e série, XV, 1855). — Hoffmeister, *Neuere Beobachtungen über Embryobildung der Phanerogamen* (*Jahrbücher für wiss. Bot.*, I, 1858);

du cotylédon qu'autant que cette connaissance est nécessaire à l'intelligence de la structure interne, dont je m'occupe exclusivement. Je devrai traiter à la fois du développement des tissus et du développement du contenu des cellules. Toutefois je fais une réserve au sujet de la matière grasse. Celle-ci ne présente, en effet, à l'étude histologique que des phénomènes peu intéressants et peu variés. C'est au point de vue chimique qu'il faudrait observer la formation et la disparition de cette substance. Mais comme elle constitue souvent une partie importante des réserves accumulées dans la graine, je la signalerai dans tous les cotylédons où elle existe en assez grande quantité pour pouvoir contribuer à la nutrition de l'embryon.

Enfin, l'albumen a des relations tellement étroites avec le cotylédon, au moins quant à la nature des substances qui y sont mises en réserve, que les deux organes ne peuvent guère être étudiés l'un sans l'autre. J'ai donc soumis l'albumen au même examen que les cotylédons.

Ces recherches ont été commencées au laboratoire de botanique de l'École supérieure des sciences d'Alger. Les objets d'étude étaient puisés au jardin d'essai du Hamma, dont l'administration, et en particulier le chef des graines, M. Chardonnier, a toujours mis le plus grand empressement à m'être utile; qu'il reçoive ici l'expression de ma reconnaissance. Elles ont été terminées à l'École supérieure de pharmacie de Nancy, où toutes les ressources nécessaires à leur exécution ont été mises à ma disposition.

J'ai souvent consulté M. Le Monnier, professeur de bota-

Neue Beiträge zur Kenntniss der Embryobildung (*Abhandl. der Sächs, Gesellsch. der Wiss.*, 1859 et 1861). — Hanstein, *Die Entwickelung des Keimes der Monocotylen und Dicotylen* (*Botanische Abhandlungen*, I, 1870). — Fleischer, *Flora*, 1874. — Westermaier, *Flora*, 1876. — Hegelmaier, *Vergleichende Untersuchungen über die Entwickelung dicotyledoner Keime*. Stuttgart, 1878. — Treub, *Embryogénie de quelques Orchidées*. Amsterdam, 1878. *Observations sur les Loranthacées* (*Ann. des sc. nat.*, 6e série, XIII, 1882). — Guignard, *Recherches d'embryogénie végétale* (*Ann. des sc. nat.*, 6e série, XII, 1881).

nique à la Faculté des sciences de Nancy, mon maître, qui m'a initié à l'étude de l'anatomie végétale; qu'il me permette de lui exprimer ma vive gratitude pour l'amabilité avec laquelle il m'a accueilli, et pour les excellents conseils qu'il m'a donnés toutes les fois que j'ai eu recours à sa science.

HISTORIQUE.

Aucune partie de la Botanique n'a peut-être été l'objet d'un plus grand nombre de travaux que la structure, la formation et la germination des embryons phanérogames. Mais aucun mémoire n'a encore paru, à ma connaissance, ayant pour but l'anatomie comparée des cotylédons et de l'albumen. La plupart des auteurs qui ont décrit les graines, en effet, se sont placés à d'autres points de vue. Les uns se sont limités aux premières divisions cellulaires qui donnent naissance à l'embryon; d'autres n'ont décrit que la forme extérieure de l'embryon pendant toute son existence, mais plus particulièrement pendant la période germinative; enfin une dernière catégorie, négligeant l'étude de la forme de la jeune plante et s'occupant uniquement de sa physiologie, ont fait porter leurs recherches sur les modifications chimiques qui ont lieu dans l'embryon aux différentes phases de sa vie, ou sur l'influence exercée par les différentes conditions extérieures sur son développement. On trouve cependant dans quelques ouvrages, pour ainsi dire accidentellement, quelques données sur la structure interne des cotylédons et de l'albumen. Je dois donc citer ces mémoires; ils se rangent, d'après l'époque de leur publication, dans l'ordre suivant :

M. Sachs a étudié, dans différents travaux (1), la germina-

(1) J. Sachs, *Physiologische Untersuchungen über die Keimung der Schminkbohne* (Phaseolus multiflorus). (*Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu Wien*, 1859, p. 57).
— *Ueber das Auftreten der Starke bei der Keimung ölhaltiger Samen* (*Bot. Zeit.*, 1859, p. 177).
— *Zur Keimungsgeschichte der Gräser* (*Bot. Zeit.*, 1862, t. XX, p. 145).—

tion des *Phaseolus multiflorus*, *Ricinus communis*, *Helianthus annuus*, *Xanthium strumarium*, *Amygdalus communis*, *Prunus Cerasus*, *Impatiens Balsamina*, *Convolvulus tricolor*, *Cucurbita Pepo*, *Vicia Faba*, *Spinacia oleracea*, *Phœnix dactylifera*, *Allium Cepa*, et des Graminées. Le physiologiste allemand a surtout en vue de rechercher sous quelle forme les matériaux mis en réserve dans la graine sont transportés au lieu de leur utilisation, et quelle voie ils suivent dans leurs migrations; les seules données que possède encore la science à cet égard sont tirées de ces mémoires. Ayant reconnu que dans les graines en germination la nature du contenu des cellules est liée d'une façon intime avec la forme des tissus, M. Sachs est amené à étudier la structure des graines sur lesquelles il expérimente, et c'est par là que ses travaux nous intéressent.

De son côté, A. Gris, se proposant un but différent, et qui se rapproche de celui du présent mémoire, examine « les changements qui s'opèrent pendant la germination dans la constitution des tissus de l'embryon et du périsperme, ainsi que dans les matières que ces tissus renferment ». Il observe pour cela, à l'état de vie latente et pendant la période germinative, les graines du Maïs, de la Belle-de-nuit, du Ricin, de la Buglosse, de la Gourde, du Cytise, du Haricot, du Balisier et du Dattier (1).

M. Van Tieghem, dans son étude sur le cotylédon des Graminées (2), nous indique, pour cette famille et celle des Cypéracées, la nervation de l'écusson. La même année, dans un

J. Sachs, *Zur Keimungsgeschichte der Dattel* (*Bot. Zeit.*, 1862, t. XX, p. 241).

— *Ueber die Keimung des Samens von* Allium Cepa (*Bot. Zeit.*, 1863, t. XXI, p. 57 et 65).

(1) A. Gris, *De l'organisation du scutelle dans le Maïs, et de son rôle pendant la germination* (*Bull. de la Soc. bot. de France*, 1863, t. X, p. 90).

— *Sur la germination du* Mirabilis longiflora (*Bull. de la Soc. bot. de France*, 1864, t. XI, p. 120).

— *Recherches anatomiques et physiologiques sur la germination* (*Ann. des sc. nat.*, 5e série, t. II, 1864, p. 5).

(2) Van Tieghem, *Observations anatomiques sur le cotylédon des Graminées* (*Ann. des sc. nat.*, 1872, t. XV, p. 233).

mémoire sur les canaux sécréteurs des plantes (1), il cite quelques cotylédons (*Tagetes patula*, *Helianthus annuus*, Araliacées) qui possèdent des appareils sécréteurs.

Vient ensuite un mémoire de M. Hugo de Vries sur la germination du Trèfle incarnat (2), où cet auteur donne l'anatomie externe et l'anatomie interne de cette graine, puis les modifications qui ont lieu dans les différents organes au cours de la germination.

MM. Haberland et Mikosch (3), pour élucider le mode de naissance des grains de chlorophylle et les relations de ces corps avec les grains d'amidon préexistants, étudient, uniquement au point de vue du contenu des cellules, la germination : le premier, du *Phaseolus multiflorus*; le second, outre cette même plante, des *Pisum sativum*, *Polygonum Fagopyrum*, *Agrostemma Githago*, *Mirabilis Jalapa*, *Pinus sylvestris*, *nigricans* et *Picea*, *Abies excelsa*, *Thuia orientalis*, *Lepidium*, *Linum*, *Raphanus*, *Cucurbita*, *Helianthus*, etc.

Enfin Faivre décrit chez une seule plante, le *Tragopogon porrifolius* (4), la formation dans le cotylédon, pendant le développement germinatif, de vaisseaux laticifères.

Si l'on cherche à résumer les documents qui peuvent être utilisés, dans la littérature actuelle, pour le sujet qui nous occupe, on voit que la plupart des travaux cités ci-dessus, conçus à un point de vue tout à fait étranger à l'anatomie comparée, ne peuvent lui fournir de données générales. En raison même des motifs variés pour lesquels les ont entrepris

(1) Van Tieghem, *Mémoire sur les canaux sécréteurs des plantes* (*Ann des sc. nat.*, 5e série, 1872, t. XVI, p. 96).

(2) Hugo de Vries, *Keimungsgeschichte des Rothenklees* (*Landw. Jarhb. von Nathusius und Thiel*, 1877). D'après Just Jahresbericht.

(3) Haberland, *Ueber die Entstehung des Chlorophyllkörner in den Keimblättern von* Phaseolus vulgaris (*Botanische Zeit.*, 1877, p. 361 et 377). — Mikosch, *Untersuchungen über die Entstehung der Chlorophyllkörner* (*Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften*, 1878, LXXVIII Band, 2 Heft, Juli).

(4) E. Faivre, *Recherches sur la formation du latex et des laticifères, pendant l'évolution germinative du* Tragopogon porrifolius. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1879, t. LXXXVIII, p. 269 et 369).

leurs auteurs, ils pèchent d'abord par le choix des espèces étudiées et par l'esprit qui a dicté les descriptions.

Les espèces choisies par chaque auteur sont trop peu nombreuses; ensuite il arrive qu'elles appartiennent toutes à une seule des catégories de cotylédons qui seront plus loin établies. C'est par suite de cette circonstance que Gris a été amené à conclure à tort que, « quelle que soit la structure des graines, que le périsperme qui les accompagne soit charnu, farineux ou corné, qu'elles soient dépourvues de périsperme, et que l'embryon, toujours riche en aleurone, soit plus ou moins oléagineux ou amylacé, la série des phénomènes fondamentaux qui président au développement du germe offre une simplicité et une uniformité remarquables. »

Les descriptions, pour les motifs déjà indiqués, sont, à notre point de vue, incomplètes, et, de plus, ne sont pas comparables entre elles. Aussi ne peut-on en tirer, pour la structure comparée, aucune indication générale, si ce n'est que chez les albumens, contrairement à ce qui a lieu chez les cotylédons, les cellules sont toujours exactement reliées sans jamais laisser entre elles le plus petit méat. Quant au contenu des cellules, on peut extraire de ces travaux les données générales suivantes : Pendant la germination des cotylédons étudiés, qui tous appartiennent au groupe des cotylédons aleurifères, l'aleurone se résorbe d'abord; puis il apparaît de l'amidon de nouvelle formation, particulièrement abondant autour des faisceaux vasculaires; ensuite il se forme quelquefois des grains de chlorophylle. Mais les circonstances dans lesquelles ces corps naissent et disparaissent, leurs relations les uns avec les autres et avec les autres parties du contenu de la cellule, avec la forme du cotylédon et l'évolution de ses tissus, sont entièrement négligées.

Enfin, le développement des cotylédons et de l'albumen antérieurement à la maturité, c'est-à-dire pendant la moitié de leur existence, n'a nulle part été traité.

C'est dans le but de combler ces lacunes que j'ai entrepris le présent travail.

EXPOSÉ DES OBSERVATIONS.

Le présent chapitre contient l'étude du développement d'un certain nombre de cotylédons et d'albumens qui m'ont paru représenter le mieux les différents types de ce développement. Quelquefois j'ai suivi le cotylédon pendant toute son existence, avant sa maturité, à sa maturité et pendant la germination; dans d'autres cas, soit que je l'aie jugée inutile, ou que des circonstances telles que la difficulté de me procurer la graine à certaines périodes me l'aient rendue impossible, j'ai supprimé tantôt l'étude de sa formation, tantôt celle de sa germination. J'ai toujours placé en tête des descriptions l'examen de la graine à l'état de vie latente. Bien que cet ordre ne soit pas conforme à la chronologie et ne paraisse pas naturel, je n'ai pas hésité à l'adopter, parce que la connaissance de la graine au repos est un guide utile pour l'étude des autres périodes de son existence. J'ai pu éviter par là bien des observations inutiles et des erreurs, et je pense que le lecteur y trouvera aussi quelques avantages.

Les cotylédons offrent, quant à leur développement, un grand nombre de variétés sur lesquelles nous reviendrons plus tard. Qu'il nous suffise de dire, pour le moment, qu'ils peuvent se rapporter à deux groupes principaux, basés sur la nature de leur réserve à l'état de vie latente : 1° les cotylédons à réserve purement amylacée; 2° ceux qui contiennent de l'aleurone.

C'est dans cet ordre qu'ils seront décrits.

I. — COTYLÉDONS A RÉSERVE FIGURÉE PUREMENT AMYLACÉE.

ÆSCULUS HIPPOCASTANUM L.

Embryon.

LA GRAINE MURE.

FORME EXTÉRIEURE. — L'embryon exalbuminé de l'*Æsculus Hippocastanum* occupe toute la capacité du tégument séminal. Ses cotylédons énormes ne présentent pas un égal développement, et la surface qui les sépare est loin d'être plane. Bien que se détachant difficilement l'un de l'autre, précisément à cause de l'inégalité de leurs surfaces en contact, ils ne sont cependant pas soudés, comme on l'indique souvent.

TISSUS. — *Épiderme.* — L'épiderme présente une structure que je n'ai retrouvée dans aucune autre graine.

Il se compose, sur les deux faces de l'organe, de cellules tabulaires larges et extrêmement surbaissées, dont les parois latérales sont renforcées par des arcs-boutants très solides, opposés deux à deux, s'appuyant, d'une part sur la paroi interne, de l'autre sur la paroi externe de la cellule. Avec ces caractères généraux, on remarque, entre les deux épidermes, quelques différences qui se traduisent par une solidité plus grande de l'épiderme inférieur (comparez les fig. 1 et 4, pl. 1). Les cotylédons ne s'écartant pas l'un de l'autre, même pendant la germination, leurs faces supérieures ne sont jamais exposées aux influences extérieures, et il est inutile que l'épiderme y acquière l'épaisseur qu'il a sur la face opposée. Nous rencontrerons ce fait, en opposition avec ce qui a lieu dans les feuilles ordinaires, chez beaucoup de cotylédons.

Outre cette première différence, tandis que l'épiderme inférieur a ses parois latérales planes, l'épiderme supérieur les a irrégulièrement courbes; les contreforts s'y dilatent au som-

met, et souvent se terminent par une petite plate-forme (pl. 1, fig. 4).

La coupe radiale de ces épidermes est, à première vue, difficile à rapprocher de la coupe tangentielle. Au lieu de trouver des cavités cellulaires larges, comme on pouvait s'y attendre, on voit une série de petites cavités séparées par des cloisons épaisses (pl. 1, fig. 3 et 7). Cette coupe s'interprète de la façon suivante : la mince tranche de tissu enlevée par deux coups de rasoir successifs comprend plus de la moitié de la largeur d'une cellule épidermique, en sorte que ce que l'on aperçoit au microscope se compose principalement des parois latérales vues de côté ; les petites cavités correspondent aux intervalles situés entre les arcs-boutants, et les cloisons de séparation aux arcs-boutants eux-mêmes.

Les deux épidermes, recouverts d'une mince cuticule, nous ont donné les réactions de la cellulose.

Parenchyme. — Le parenchyme, homogène, se compose de grandes cellules polyédriques à angles arrondis, laissant entre elles des méats peu considérables. En se rapprochant des épidermes, les cellules deviennent plus petites ; cette diminution de volume se fait déjà sentir à partir du sixième ou du huitième rang à l'intérieur du parenchyme. Contre les épidermes, on trouve des éléments dont le diamètre n'est plus que la cinquième ou la sixième partie de ceux du centre de l'organe.

Les membranes cellulaires, assez épaissies, sont de nature cellulosique ; cependant l'iode seul les colore déjà faiblement en bleu, ce qui y indiquerait le mélange d'une petite quantité de granulose. Les parties de membrane qui confinent à la cavité cellulaire et non aux méats, présentent des plaques de ponctuations réticulées d'un dessin très élégant.

Nervation. — Je décrirai d'abord la course des faisceaux ; je m'occuperai ensuite de leur composition histologique.

Les nervures ne s'étalent pas suivant une surface, comme nous le remarquerons dans plusieurs cotylédons ; elles se distribuent au hasard dans toute l'épaisseur du parenchyme, en

sorte qu'une coupe transversale de l'organe présente dans toute son étendue, et irrégulièrement disséminées, des sections de nervures (1).

Les faisceaux vasculaires arrivent, du court pétiole cotylédonaire, au nombre de six à huit à peu près également espacés. Dès leur arrivée dans le cotylédon, ils fournissent quelques branches principales. Celles-ci s'écartent l'une de l'autre, de manière à occuper toute la largeur de l'organe, et forment rapidement un éventail très ouvert; elles se subdivisent de la même manière que les nervures primitives, donnant des rameaux qui s'en détachent à angles très aigus. Cette ramification se continuant, les nervures arrivent aux bords du cotylédon en très grand nombre, à peu près parallèles entre elles, et s'y terminent librement. Dans l'intérieur de l'organe, quelques arcs se remarquent qui relient entre elles de grandes nervures, et sur leur convexité donnent naissance à quelques nervures plus petites. La nervation palmée, sans nervure médiane, présente donc des terminaisons libres à l'intérieur des mailles et vers la marge du cotylédon.

Un faisceau assez fort, pris dans la région inférieure du cotylédon, se compose d'un liber extérieur, d'une zone ligneuse interne ou supérieure, et, entre les deux, d'une couche ininterrompue de cellules génératrices. Le liber a une structure assez compliquée ; on y trouve une intrication compliquée de cellules à section très faible et quelques éléments à beaucoup plus grande ouverture. Dans la région ligneuse, au milieu des cellules qui ont conservé l'aspect du procambium, on remarque quelques vaisseaux épars ne formant pas une couche continue. Malgré la présence du cambium, on ne voit pas encore de bois secondaire.

Contenu cellulaire. — *Corps protoplasmique.* — Le corps protoplasmique, dans toute l'étendue du cotylédon, est con-

(1) Dans la figure 56, destinée à représenter cette nervation, j'ai dû supposer les différents faisceaux rabattus sur un plan parallèle à la face supérieure du cotylédon.

stitué par une mince couche de protoplasma pariétal contenant, dans un de ses points, un noyau volumineux avec un nucléole brillant.

Dérivés du protoplasma. — La réserve de cette graine se compose d'huile et d'amidon. Nous nous occuperons de l'amidon, qui seul a pris forme.

Les cellules sont complètement remplies de grains d'amidon de dimensions variables, mais en général considérables. La forme de ces grains est ovale ou elliptique ; les plus gros atteignent 2 centièmes de millimètre de grand diamètre ; le plus grand nombre a environ $0^{mm},015$. Entre ces grains, l'espace est rempli par d'autres très petits, sphéroïdaux, dont quelques-uns n'ont que 3 millièmes de millimètre de largeur; les gros grains ont un hile souvent excentrique, linéaire ou étoilé, mais on n'y voit pas trace de stratification.

La plupart de ces grains ne sont pas adhérents à l'utricule protoplasmique ; ils sont épars et libres dans la cavité cellulaire, directement en contact les uns avec les autres, sans être reliés par du protoplasma. Lors de l'étude du développement embryonnaire de ce cotylédon, j'expliquerai comment ces grains d'amidon, non en contact avec le protoplasma, ont pu s'accroître, et pourquoi ils sont de dimensions différentes.

DÉVELOPPEMENT EMBRYONNAIRE.

Forme extérieure. — L'embryon est blanc pendant toute cette période. Dans le premier état que j'ai pu me procurer, les cotylédons, égaux, avaient à peu près 10 millimètres de longueur, 8 de largeur et 2 d'épaisseur ; ils présentaient sur leur face supérieure une gouttière longitudinale et étaient éloignés l'un de l'autre de 3 ou 4 millimètres. A partir de ce moment, les cotylédons vont s'agrandissant et se rapprochant l'un de l'autre, de manière à amener bientôt en contact leurs faces supérieures ; la radicule et l'axe tout entier de l'embryon se recourbent suivant le plan principal de la jeune plante ; le

cotylédon qui est situé dans la concavité de cette courbe demeure beaucoup plus petit que l'autre.

TISSUS. — *Épiderme.* — L'épiderme se présente d'abord sur les deux faces avec des caractères identiques; il est composé de cellules tabulaires assez surbaissées; les parois latérales, rectilignes, déterminent sur cet épiderme des polygones irréguliers, en général allongés suivant l'axe longitudinal du cotylédon. Toutes les membranes sont minces, unies, incolores; elles ne présentent encore aucune trace des épaississements en arcs-boutants que l'on y rencontre plus tard; de nature cellulosique, elles sont déjà recouvertes d'une mince lamelle de cutine. Les cellules ne se divisent plus; c'est par leur accroissement considérable, surtout à la face inférieure du cotylédon, qu'elles suivent l'extension de l'organe; les contreforts des parois latérales apparaissent d'abord dans l'épiderme inférieur, où ils sont toujours plus développés que dans l'épiderme supérieur; déjà ils ont acquis, dans la première de ces membranes, leurs dimensions définitives et n'auront plus qu'à s'épaissir (pl. 1, fig. 5), qu'ils revêtent encore dans la seconde, vue de face, la forme de pointes courtes (pl. 1, fig. 6).

Parenchyme. — Le parenchyme, pendant tout le temps du développement embryonnaire, se compose d'éléments de même forme que ceux que nous avons vus à l'état de maturité, c'est-à-dire de cellules globuleuses laissant entre elles des méats aérifères. Au voisinage des épidermes et autour des faisceaux vasculaires, les cellules se sont toujours montrées plus petites qu'au centre de l'organe. Pendant les premiers temps du développement, les cellules parenchymateuses ne s'agrandissent que peu, mais se divisent souvent, principalement par des cloisons parallèles aux faces du cotylédon; c'est par ces divisions que le volume du cotylédon augmente. Dès que cet organe a atteint, en mesures linéaires, la moitié de ses dimensions à l'état latent, qu'il est encore loin, par conséquent, de son volume définitif, la multiplication des cellules

cesse ; mais elles commencent alors à s'accroître activement, et c'est uniquement grâce à cet agrandissement que l'organe arrive à l'état adulte ; c'est à ce même moment que les parois commencent à s'épaissir.

Nervation. — Dans le plus jeune état examiné, on aperçoit déjà des nervures assez abondantes (pl. 5, fig. 57). Le court pétiole reçoit de l'axe trois ou quatre faisceaux qui se ramifient dès leur entrée dans le cotylédon, et donnent les nervures principales qui ont été observées à la maturité. Les faisceaux ainsi formés, au nombre de huit ou dix, se dirigent, à peu près en ligne droite, vers le sommet du cotylédon, en s'écartant en éventail, de manière à en occuper toute la largeur ; durant leur trajet, ils ne s'anastomosent jamais, mais émettent, des deux côtés, de petits ramuscules droits qui s'éteignent bientôt, sans faire dévier de sa course la nervure principale. Cette nervation se développe ensuite par la ramification des faisceaux existants en branches aussi fortes qu'eux, et par leur réunion au moyen d'anastomoses transversales. C'est ainsi que le cotylédon possède bientôt, avant même que le parenchyme cesse de diviser ses cellules, son système définitif de nervures.

Le faisceau se compose d'abord presque exclusivement de tissu procambial. Il s'est déjà formé, cependant, à sa face supérieure, quelques vaisseaux spiralés. On suivra facilement, sans qu'il soit besoin de les décrire, les modifications qui amènent le faisceau de l'état initial, qui vient d'être relaté, à l'état de maturité.

CONTENU CELLULAIRE. — *Corps protoplasmique.* — Le protoplasma consiste d'abord en une couche mince, pariétale, tapissant la membrane ; on y voit un noyau central contenant un nucléole brillant, et relié à l'enduit périphérique par des filaments très déliés de matière protéique. Les bandes rayonnantes disparaissent bientôt, en même temps que le noyau va occuper un point de la couche protoplasmique pariétale.

Dérivés du protoplasma. — Les seuls corps figurés naissant

dans les cellules de ce cotylédon, pendant son développement embryonnaire, sont des grains d'amidon. Ils se forment à la périphérie de la cellule, inclus dans le protoplasma pariétal; on en trouve aussi quelques-uns le long des filaments qui relient le noyau à l'utricule, et enfin le noyau en est entouré. Quelques-uns, des plus petits, portent sur le côté un croissant de substance protéique, qui est sans doute le leucite qui les a formés. Autour des plus gros, on aperçoit fréquemment une couche mince, nettement limitée, de protoplasma, qui doit être un leucite épuisé. Lorsque le protoplasma est devenu uniquement pariétal, ces grains sont tous situés à la périphérie de la cellule; d'abord ils sont quelque peu éloignés l'un de l'autre (pl. 6, fig. 72); plus tard, sans que leur nombre augmente, mais seulement leur volume, ils arrivent à se toucher (pl. 6, fig. 73). Il ne se forme plus de grains d'amidon nouveaux, et l'on peut démontrer par la comparaison de la capacité de la cellule et du volume des grains d'amidon, à cet état et à la maturité de la graine, que le seul accroissement des grains qui existent maintenant suffit à remplir toute la cellule.

Voyons à présent quelle est, pendant le développement des grains d'amidon, leur relation avec l'utricule protoplasmique. Ils se trouvent d'abord, comme on l'a vu, tous dans l'épaisseur de la couche pariétale du protoplasma, dont ils occupent toute la superficie sans se superposer; leur diamètre venant à augmenter, ils ne peuvent bientôt plus rester tous adhérents au sac protoplasmique; quelques-uns se détachent, tombent dans le liquide cellulaire et cessent de croître. L'espace qu'ils laissent libre est bientôt comblé par l'accroissement des grains restés en contact avec leur corps nourricier, le protoplasma; puis l'espace devenant de nouveau insuffisant, quelques grains se détachent encore de l'utricule et ont le sort des précédents. Les grains augmentant continuellement de volume, les mêmes faits se reproduisent, et ainsi la cellule se remplit de grains d'amidon détachés successivement de l'utricule primordiale, au contact de laquelle ils ont acquis leur volume définitif. On

voit en même temps par là pourquoi les grains d'amidon décollés de la couche protoplasmique pariétale, surpris par l'arrêt de développement à des moments différents de leur existence, ont aussi des volumes différents.

GERMINATION.

Forme extérieure. — Pendant la germination, les cotylédons du Marronnier demeurent hypogés et ne verdissent pas; toujours appliqués l'un contre l'autre, ils ne font que se gonfler légèrement.

Tissus. — *Épiderme.* — Les cellules de l'épiderme inférieur s'agrandissent quelque peu, pour suivre le gonflement du cotylédon, mais ne se divisent pas. Il était à prévoir, d'ailleurs, que des éléments à parois aussi épaisses et d'une structure aussi compliquée, avaient atteint leur état définitif et ne pouvaient plus proliférer. Disons en passant que, pour la même raison, des stomates n'ont pu se former aux dépens des cellules de cet épiderme. Les membranes se sont encore déformées, sont devenues courbes et sinueuses, en sorte que la cellule entière, vue de face, ne représente plus, comme autrefois, un polygone, mais une figure irrégulière. Des changements importants se manifestent, en outre, dans la paroi elle-même; son épaisseur a diminué de près de moitié, et les arcs-boutants, qui ont subi la même perte de substance, mais n'ont pas diminué de longueur, paraissent proéminer davantage sur la paroi amincie. Il suit de là que l'épiderme inférieur contribuait, dans une certaine mesure, à contenir, sous forme de cellulose, la réserve hydrocarbonée de la graine. Enfin une dernière différence entre cet état et l'état latent consiste en ce que l'épiderme inférieur se subérifie complètement vers la fin de la germination.

L'épiderme supérieur présente, comparé à celui de la graine mûre, des différences moins sensibles que l'épiderme inférieur. Ceci tient, d'une part, à ce que le tissu a les membranes beau-

coup moins épaisses, et que, d'autre part, la face du cotylédon qu'il recouvre s'étend moins pendant la germination et n'est jamais mise à nu. Les parois cellulaires ne peuvent que diminuer faiblement d'épaisseur; la cellule, ne s'étendant pas, ne peut se déformer, et ensuite, puisque cet épiderme est continuellement en contact avec son homologue de l'autre cotylédon et n'est jamais exposé aux influences extérieures, la subérification des membranes devient inutile.

Parenchyme. — Les modifications que le parenchyme éprouve pendant la germination ne nous arrêteront pas longtemps. Nous retrouvons exactement le même tissu qu'à l'état latent; les cellules ont dû s'agrandir légèrement en raison du gonflement de l'organe, mais cette extension n'est pas sensible pour chacune d'elles, et ne se remarque pas sur les préparations histologiques; les membranes ont diminué sensiblement d'épaisseur. La seule différence importante consiste en ce que la moitié externe environ des cellules situées immédiatement sous l'épiderme s'est subérifiée.

Nervation. — La distribution des faisceaux vasculaires n'a pas varié pendant la germination. La composition du faisceau présente elle-même assez peu de différence avec l'état latent. Par le jeu de la couche cambiale, quelques nouveaux vaisseaux ont pris naissance en dehors des vaisseaux primaires, mais ils ne forment pas une couche continue. Au bord inférieur du liber se remarquent, constituant une assise irrégulière, quelques cellules épaissies et lignifiées, mais qui n'arrivent pas à l'aspect et à la solidité des fibres. Je n'ai observé de cellules criblées dans le tissu libérien à aucune époque de la germination, mais seulement des ponctuations simples.

On voit donc que la nervation s'est maintenue, pendant la période germinative, à peu près au même état où nous l'avons trouvée à l'état latent.

CONTENU CELLULAIRE. — *Corps protoplasmique.* — Nous rencontrons le même corps protoplasmique que nous avons

décrit ci-dessus. Le noyau est devenu très granuleux; son contour irrégulier ne présente plus de limite nette.

Dérivés du protoplasma. — L'huile et l'amidon, les deux substances de réserve les plus importantes de cette graine, ont été presque entièrement résorbés.

L'huile ne se retrouve plus que sur le bord des coupes, près des épidermes; dans l'intérieur du tissu on n'en voit que très peu. L'amidon a presque entièrement disparu; pendant qu'à l'état latent les grains remplissaient complètement la cellule, ici on n'en remarque plus que quelques-uns, quatre ou cinq par cellule, rarement dix ou quinze; quelques cellules en manquent tout à fait. Enfin, les derniers grains d'amidon sont beaucoup plus petits que ceux du cotylédon au repos.

A quelque moment de la germination que j'aie examiné les grains d'amidon, je n'en ai jamais trouvé de corrodés; leur surface était toujours très nette. La résorption de l'amidon a donc lieu par le mode connu sous le nom de dissolution égale.

ERIOBOTRYA JAPONICA Lindl.

LA GRAINE MURE.

FORME EXTÉRIEURE. — La forme des cotylédons de l'*Eriobotrya japonica* varie avec la façon dont les graines sont placées dans l'ovaire. Mais, en général, la graine représente un ovoïde irrégulièrement aplati, long de 15 à 18 millimètres, large de 14 à 15, et épais d'environ 10; elle consiste uniquement en un embryon composé de deux cotylédons sensiblement égaux, réunis par leur face plane, et attachés, sans aucun indice de pétiole, à une plantule très petite.

Les cotylédons, bien que renfermés dans les téguments séminaux et dans la pulpe épaisse du fruit, présentent souvent par places une légère coloration verte.

TISSUS. — *Épiderme.* — L'épiderme est composé, sur les deux faces du cotylédon, d'un seul rang de cellules tabulaires

qui, vues de face, présentent un contour polygonal irrégulier. On remarque facilement que plusieurs de ces cellules, deux, trois ou quatre, à parois latérales plus minces, sont groupées en un ensemble à parois plus épaisses; ce petit groupe représente une cellule primordiale et ses subdivisions, dont les parois ne se sont pas encore aussi épaissies que celles de la cellule mère. Nous pouvons voir, par là, que la division de ces cellules primitives s'est produite dans tous les sens et a, par conséquent, accru la surface de l'épiderme dans toutes les directions (pl. 1, fig. 9).

Il n'y a de stomates ni sur la face inférieure, ni sur la face supérieure de ce cotylédon.

Parenchyme. — Le parenchyme, homogène, est composé de cellules sphéroïdales diminuant légèrement de dimension au voisinage des épidermes, et laissant entre elles de petits méats aérifères.

Les membranes cellulaires ont une certaine épaisseur, ce qui contribue à donner au tissu une dureté assez considérable; elles sont de nature cellulosique.

Nervation. — Le système des nervures est situé vers le milieu de l'épaisseur du cotylédon; il se distribue sur une surface courbe, se tenant à égale distance des deux faces de l'organe (pl. 2, fig. 32). On y distingue trois faisceaux principaux, naissant isolément de la radicule (pl. 3, fig. 42). L'un de ces faisceaux, le médian, présente un plus grand développement que les deux autres; il parvient jusqu'au sommet du cotylédon, en émettant sur ses côtés de nombreuses branches qui, après s'être elles-mêmes ramifiées une ou plusieurs fois, arrivent jusque assez près des bords de la feuille embryonnaire; c'est donc cette branche médiane qui parcourt et occupe le plus grand espace. Les deux faisceaux latéraux, à peu près symétriques par rapport à l'axe de l'organe, entrent dans le cotylédon très près de la nervure médiane, s'en écartent rapidement pour se tenir à peu de distance des bords du cotylédon, et émettent de chaque côté des branches courtes généralement simples.

Les nervures, disposées, comme on le voit, suivant le mode palmé, ne s'anastomosent pas (1).

Les faisceaux vasculaires de l'*Eriobotrya japonica* ont déjà atteint, à l'époque de la maturité de la graine, une grande perfection; ils possèdent à leur face supérieure de nombreuses trachées réparties sur une ligne assez étendue. Sur la face inférieure ou externe du faisceau, on trouve un liber mou formant un réseau très compliqué. Enfin, entre les deux tissus existe une couche génératrice faible, formée de quelques séries radiales de cellules.

CONTENU CELLULAIRE. — *Corps protoplasmique.* — Il consiste en une couche mince, hyaline et pariétale de protoplasma, contenant en un de ses points un noyau granuleux, à nucléole brillant.

Dérivés du protoplasma. — Le parenchyme contient des grains d'amidon volumineux, épars dans la cavité cellulaire comme ceux du Marronnier. On leur reconnaît une stratification vague et un hile punctiforme de couleur plus claire que le reste du grain. Rarement ils sont simples; ils présentent alors la forme sphérique. Le plus souvent ils se réunissent en grains composés. Les grains partiels, au nombre de deux, trois ou quatre, se disposent diversement; quand il y en a trois, ils peuvent se placer en ligne droite ou autour d'un point; lorsqu'ils sont au nombre de quatre, ils occupent les sommets d'un tétraèdre.

A la face inférieure du cotylédon, dès le troisième ou le quatrième rang de cellules à partir de l'épiderme, les grains d'ami-

(1) Pour préparer cette nervation, j'ai fait bouillir le cotylédon dans la potasse, afin de transformer l'amidon en empois, et d'amener ainsi le ramollissement de l'organe. Cela fait, j'ai lavé à grande eau pour enlever la potasse, puis laissé macérer pendant plusieurs jours dans de l'acide sulfurique aux deux tiers, contenant de la fuchsine en solution. Ce réactif dissout la cellulose ou au moins la ramollit, et il ne reste plus d'inattaqué que le bois des faisceaux. En disséquant ensuite sous l'eau, on obtient la course des nervures, d'autant plus facilement que leur bois a été coloré en rouge par la fuchsine.

don diminuent progressivement de volume, et, dans les assises les plus externes, se réduisent à l'état de granulations.

Les épidermes ne renferment pas d'amidon.

Les parties du cotylédon colorées en vert n'ont pas pour cela un contenu particulier; aucune formation spéciale ne s'y est produite. Le verdissement est dû à ce que du pigment chlorophyllien s'est déposé, dans les cellules vertes, sur le protoplasma et les grains d'amidon.

GERMINATION.

FORME EXTÉRIEURE. — Pendant la germination, la graine reste hypogée; elle se gonfle assez fortement. Les cotylédons verdissent par places, mais ce verdissement n'est jamais beaucoup plus considérable qu'à l'état de repos.

TISSUS. — *Épiderme.* — Les cellules de l'épiderme supérieur ne se divisent pas, mais s'accroissent dans tous les sens, proportionnellement à l'augmentation de volume du cotylédon; celles de l'épiderme inférieur, au contraire, se multiplient activement, et les cellules filles restent toujours plus petites que les cellules mères. On trouve donc à la fin de la germination, dans chacune des cellules épidermiques de l'état latent, plusieurs cellules de nouvelle génération, se reconnaissant à leurs parois minces (pl. 1, fig. 10). Il ne se forme ni poils, ni stomates.

Parenchyme. — Le parenchyme ne présente rien d'intéressant à signaler; ses cellules se sont légèrement agrandies, sans se subdiviser.

Nervation. — La nervation conserve la même disposition qu'à l'état latent, mais la composition du faisceau libéro-ligneux devient plus compliquée par suite de l'activité de la couche cambiale. Du bois secondaire a pris naissance; il forme dans la nervure médiane un arc semi-circulaire à concavité supérieure, composé de séries radiales de cinq ou six vaisseaux. Le liber ne paraît pas s'être accru.

CONTENU CELLULAIRE. — Le corps protoplasmique ne varie pas pendant la germination. Les grains d'amidon se résorbent, et aucune autre formation figurée ne leur succède. C'est un des cas rares où j'ai observé la résorption locale des grains d'amidon. En même temps qu'ils sont corrodés suivant un processus bien connu, les parties qui en restent sont chimiquement altérées ; au lieu de se colorer, comme précédemment, en bleu indigo au contact des solutions iodées, elles prennent maintenant une coloration rouge cuivreux.

La dissolution de l'amidon n'est jamais complète; lorsque le cotylédon se flétrit, il renferme encore une abondante quantité de cette réserve.

Les places où la coloration verte a augmenté pendant la germination m'ont donné les mêmes résultats qu'à l'état latent. Ici encore c'est le protoplasma ainsi que les grains d'amidon qui se sont chargés de matière colorante chlorophyllienne, sans que de vrais grains de chlorophylle aient pris naissance.

QUERCUS MIRBECKII Durieu.

LA GRAINE MURE.

La graine des Chênes, semblable chez toutes les espèces, est connue de tout le monde; je me dispenserai d'en donner la description externe.

TISSUS. — *Épiderme.* — Les deux épidermes sont simples, à parois minces et cellulosiques; vers l'extérieur ils sont recouverts d'une mince cuticule. Les cellules de l'épiderme inférieur représentent, vues de face, des polygones isodiamétriques; celles de l'épiderme supérieur, plus grandes, s'allongent un peu dans le sens de la longueur de l'organe. Les stomates et les poils manquent à la surface de cette graine.

Parenchyme. — Le parenchyme, homogène et à méats, se

compose de cellules polyédriques à parois minces et cellulosiques (1).

Nervation (2). — De chacun des angles de la rainure occupée par le pétiole cotylédonaire, part un gros faisceau qui se partage bientôt en trois autres (pl. 4, fig. 54). L'un, interne, parcourt le cotylédon dans toute sa longueur, vers sa partie médiane ; il se divise peu dans le plan de la commissure cotylédonaire. Le faisceau moyen vascularise le bord du cotylédon, où il décrit plusieurs arcades et donne quelques filets. Enfin la nervure externe, se retournant brusquement, se répand dans l'oreillette.

Les nervures principales qui viennent d'être décrites se distribuent dans un plan parallèle à la face supérieure du cotylédon, situé à une profondeur d'un demi à un millimètre. La partie inférieure du cotylédon est vascularisée par des rameaux profonds qui se détachent de la face inférieure des précédents, et s'enfoncent obliquement dans le parenchyme.

Nous avons déjà dit que le faisceau ne présentait qu'un faible développement ; il n'est guère plus large dans sa totalité qu'une des grandes cellules du parenchyme. Il est déjà différencié en bois et en liber. Le bois, sous forme de vaisseaux spiralés, occupe un petit îlot à la face supérieure du faisceau ; toute la partie qui reste présente les caractères du tissu pro-

(1) Lorsque l'on fait des coupes dans les cotylédons du Chêne, il faut éviter de se servir d'eau pour mouiller le rasoir, car alors il se forme du tannate de fer qui se dépose sur la préparation et la rend illisible. En employant l'alcool, on évite cet inconvénient.

(2) L'étude de la marche des faisceaux vasculaires n'a pu être faite par le procédé que j'emploie habituellement pour les cotylédons épais et amylifères, c'est-à-dire par la macération dans la potasse pour dissoudre l'amidon, ensuite dans l'acide sulfurique fuchsiné, pour ramollir les membranes cellulosiques et colorer en même temps le bois des faisceaux. Dans cette graine, les nervures sont tellement fines, que l'on ne peut plus les retrouver dans la pulpe formée par le parenchyme traité comme il vient d'être dit. J'ai dû d'abord débiter le cotylédon en tranches minces, par une série continue de coupes longitudinales successives, parallèles à sa face supérieure. Chacune des coupes a été ensuite traitée par la fuchsine ammoniacale. Examinées à un faible grossissement, ces préparations combinées m'ont donné le mode de distribution des faisceaux.

cambial. Une assise génératrice intra-fasciculaire ne paraît pas jusqu'ici avoir pris naissance.

CONTENU CELLULAIRE. — Le corps protoplasmique se compose d'une couche pariétale mince de protoplasma et d'un noyau également pariétal.

La réserve figurée de cette graine est exclusivement constituée par des grains d'amidon, non adhérents à l'enduit protoplasmique, épars par conséquent dans la cavité cellulaire. Ils remplissent toutes les cellules du parenchyme; on en trouve aussi dans l'épiderme supérieur, mais non dans l'épiderme inférieur; les faisceaux en sont dépourvus.

Les grains d'amidon, de forme ovoïde et de dimensions variées, sont presque toujours simples. Les plus gros ont de 5 à 8 millièmes de millimètre de diamètre; ils possèdent seuls un hile linéaire et une stratification vague.

Dans la plus grande partie du parenchyme, on trouve mêlés des grains de toute grandeur; au voisinage de l'épiderme inférieur, les plus petits existent seuls, ainsi que dans les cellules de l'épiderme supérieur.

GERMINATION.

FORME EXTÉRIEURE.— Pendant la germination, l'axe soulève les cotylédons au-dessus du sol; ils s'écartent l'un de l'autre, deviennent d'un vert foncé, et se gonflent légèrement.

TISSUS. — Aucun changement notable ne se produit dans les tissus du gland sous l'influence de la germination. Il faut seulement indiquer que dans les faisceaux vasculaires il se forme, entre le bois et le liber primaires, une couche ininterrompue de cambium, et que, par l'activité de cette couche, quelques séries de vaisseaux et quelques cellules libériennes secondaires prennent naissance; cependant le faisceau n'arrive pas à un grand développement, ni à une différenciation avancée de ses éléments. Le liber reste mou; je n'y ai pas remarqué de cellules criblées.

Contenu cellulaire. — Les grains d'amidon disparaissent d'abord presque complètement par le mode de dissolution égale; puis il se forme à la face inférieure du parenchyme, dans les trois ou quatre assises de cellules qui avoisinent l'épiderme, des grains de chlorophylle.

On vient de voir qu'à la face inférieure du cotylédon, les grains d'amidon sont plus petits que dans le reste du parenchyme; ils s'y dissolvent plus rapidement, et dès qu'ils ont disparu, commencent à se former les grains de chlorophylle. Il arrive donc un moment où le parenchyme cotylédonaire contient à la partie supérieure des grains d'amidon, et à la partie inférieure des grains de chlorophylle. Ceux-ci naissent par simple épaississement de la couche protoplasmique pariétale qui, dans les endroits épaissis, devient plus dense et plus réfringente. Les épaississements sont toujours plan-convexes; leur côté convexe est tourné vers la cavité cellulaire, le côté plan s'applique contre la paroi; ils se rattachent sans interruption, ainsi que les grains de chlorophylle qui en sont l'état le plus développé, à la partie non épaissie de l'enduit plasmatique. Les grains de chlorophylle sont donc hémisphériques et pariétaux; arrivés à leur complet développement, ils forment chacun à leur intérieur un grain d'amidon composé, qui, en s'agrandissant, détruit progressivement la substance constitutive du grain de chlorophylle; il n'en reste qu'un mince résidu reliant entre eux les grains partiels d'amidon. La figure 77 (pl. 6) représente un état jeune des grains de chlorophylle; dans la figure 78 de la même planche, ils sont plus développés et voisins de leur état adulte; dans les figures 79 et 80, où ils sont vus de profil et de face, l'amidon les remplit exactement.

La matière colorante verte se montre bien avant la naissance des grains de chlorophylle; elle se dépose dans toute la périphérie du cotylédon sur le protoplasma et les grains d'amidon. Les grains de chlorophylle sont donc colorés en vert dès leur naissance, et la couche de protoplasma qui les relie présente la même coloration; mais cette couche étant excessive-

ment mince et peu dense, sa coloration ne s'aperçoit que difficilement, tandis qu'au contraire celle des grains de chlorophylle ressort avec netteté. Il en résulte qu'au premier abord les grains de chlorophylle seuls paraissent colorés.

II. — COTYLÉDONS ALEURIFÈRES.

ARACHIS HYPOGÆA L.

LA GRAINE MURE.

FORME EXTÉRIEURE. — L'embryon exalbuminé de cette plante est irrégulièrement elliptique; il a environ 12 millimètres de longueur et 8 de plus grand diamètre transversal. Il se compose, à part l'axe de la jeune plante, dont nous ne nous occupons pas, de deux cotylédons égaux, qui présentent chacun une face supérieure plane et une face inférieure fortement convexe. Le cotylédon est blanc et de consistance charnue.

TISSUS. — *Épiderme.* — Le cotylédon tout entier est recouvert d'un épiderme simple, dont les éléments varient quelque peu de la face inférieure à la face supérieure de l'organe. Sur la face inférieure, la couche épidermique se compose de cellules tabulaires généralement très allongées dans le sens du grand axe de l'embryon, et souvent courbées. Les cellules de l'épiderme supérieur diffèrent des précédentes en ce que, conservant à peu près la même longueur, elles deviennent beaucoup plus larges; leur membrane externe est aussi moins épaisse, en sorte qu'elles constituent un tissu moins résistant; leurs parois latérales, irrégulièrement sinueuses, dessinent, sur un lambeau d'épiderme vu de face, des polygones à contours tourmentés.

On remarque des stomates sur les deux faces du cotylédon; ils sont plus nombreux et plus petits sur l'épiderme supérieur que sur l'épiderme inférieur. Ces organes ne présentent rien

de remarquable. Une mince lamelle de cutine recouvre la surface entière de l'embryon.

Parenchyme. — La plus grande partie de ce tissu est composée de cellules polyédriques à angles arrondis, entre lesquelles se trouvent de faibles méats aérifères. Les membranes minces, cellulosiques, présentent des réseaux élégants de ponctuations, dans les endroits où elles confinent à deux cavités cellulaires.

A la partie médiane de la face supérieure du cotylédon, les cellules, au lieu d'être distribuées irrégulièrement comme partout ailleurs, se disposent en séries linéaires perpendiculaires à la surface. Les éléments situés contre l'épiderme ont, sur une section transversale de l'organe, la forme de rectangles aplatis tangentiellement et sont exactement empilés les uns sur les autres. Au fur et à mesure que l'on se rapproche du centre de la feuille embryonnaire, les rectangles augmentent d'épaisseur et passent à la forme carrée. Puis, les cellules devenant de plus en plus grandes, leurs parois perdent leur régularité; les figures acquièrent, par la flexion des parois, plus de quatre côtés, se transforment insensiblement en polygones, et se mêlent peu à peu aux autres cellules du parenchyme (pl. 2, fig. 18). Ici, par conséquent, le parenchyme est hétérogène.

Nervation (1). — Il arrive du pétiole dans le cotylédon deux faisceaux vasculaires assez forts (pl. 3, fig. 45). A peine ont-ils quitté le pétiole, qu'ils se bifurquent. Les quatre

(1) Il est très difficile de l'obtenir sur le cotylédon à l'état latent, parce que les nervures, ne possédant pas encore d'éléments lignifiés, ne peuvent être disséquées qu'avec peine. Les substances dont les cellules parenchymateuses sont remplies, formant une pâte avec les réactifs ramollissants, augmentent encore la difficulté d'une pareille préparation. Mais on a déjà pu voir, et c'est d'ailleurs une des conclusions auxquelles je suis conduit, qu'au moins chez les cotylédons épais, comme celui-ci, la distribution de la nervation ne change plus pendant la germination. J'ai donc traité par l'acide sulfurique fuchsiné, comme je l'ai déjà indiqué, des cotylédons en pleine germination, qui avaient formé du bois; j'ai pu obtenir facilement, par dissection, la course des nervures. J'ai procédé de la même façon pour tous les cotylédons dont les faisceaux sont encore, à la maturité dans l'état procambial.

rameaux ainsi formés sont semblables sous tous les rapports, et symétriques deux à deux par rapport à l'axe du cotylédon. Les deux branches externes se dirigent vers le bord de l'organe, et les internes vers la ligne médiane ; leur trajet est très court, et à 3 millimètres environ de leur point de naissance elles se bifurquent à leur tour, produisant par conséquent huit rameaux. Les deux plus internes s'unissent presque à leur naissance en un cordon unique, médian ; les autres rameaux restent libres. Toutes ces subdivisions se produisant à la base de l'organe, il en résulte, en définitive, qu'il est parcouru par sept faisceaux vasculaires allant de sa base à son sommet, l'un médian, et les autres distribués symétriquement de chaque côté de lui. Pendant leur course, ces faisceaux s'incurvent en dirigeant leur concavité vers le médian, de façon à partager en bandes d'égale largeur la surface sur laquelle ils se distribuent. Ils n'émettent latéralement que de très petits rameaux, qui ne les font pas dévier de leur direction.

Ces nervures sont situées tout contre la face inférieure du cotylédon ; sur leur face supérieure ou ventrale, elles émettent des branches beaucoup plus grandes que sur les côtés. Ces branches se dirigent obliquement vers la face supérieure et le sommet du cotylédon, en se répandant dans l'épaisseur du parenchyme ; elles s'anastomosent fréquemment entre elles et constituent un lacis compliqué dont on peut prendre une idée sur des coupes longitudinales épaisses du cotylédon (pl. 3, fig. 46).

Une coupe transversale de ce cotylédon (pl. 2, fig. 31) montre, par conséquent, près du bord convexe, les sections de sept faisceaux également espacés, dont le médian est le plus développé. Dans l'espace circonscrit par cette ligne de nervures et le bord droit de la coupe, se trouvent des traces de nervures coupées obliquement et irrégulièrement disséminées.

Les faisceaux sont encore à l'état procambial.

Contenu cellulaire. — *Corps protoplasmique.* — Le protoplasma se retrouve ici avec les caractères que nous lui avons toujours reconnus dans les graines mûres. Il forme une couche pariétale extrêmement mince, appliquée contre la membrane; il ne peut se voir s'il n'a pas été coloré. Le noyau cellulaire est aussi devenu pariétal. Dans les ponctuations de la paroi, on observe, après traitement par l'éosine, une coloration rose plus foncée qu'ailleurs; le protoplasma possède donc, à l'endroit de ces petites cavités, une épaisseur plus grande que sur le reste du pourtour de la cellule.

Dérivés du protoplasma. — La réserve figurée de ce cotylédon se compose de grains d'amidon et de grains d'aleurone, séparés de la couche pariétale de protoplasma et libres dans la cavité cellulaire.

Ces deux sortes d'enclaves se ressemblent beaucoup par leurs dimensions, leur couleur et leur réfringence, en sorte qu'au premier examen, sur des coupes qui n'ont subi aucun traitement, on ne peut les distinguer l'une de l'autre avec certitude. Mais si après avoir rendu insolubles les grains d'aleurone par macération dans une solution alcoolique de sublimé, on traite les préparations par l'eau iodée, la distinction se fait facilement par la coloration différente que prennent les deux sortes de grains.

Tous les grains sont sensiblement sphériques; les grains d'amidon présentent en général de plus grandes dimensions que ceux d'aleurone; mais le contraire a quelquefois lieu, ce qui fait que l'on ne peut distinguer ces deux formations par leur diamètre. Les grains d'aleurone se montrent en beaucoup plus grand nombre que les grains d'amidon; on peut donner une idée assez exacte de leur proportion en disant que, sur une coupe optique, on compte environ douze à quinze grains d'amidon, les grains d'aleurone se trouvant en nombre incommensurable.

Après ces généralités, il reste peu à dire de chacun de ces corps figurés.

La plupart des grains d'aleurone possèdent un globoïde

simple, placé excentriquement, tangent intérieurement à la surface du grain. Les grains d'amidon n'offrent ni hile, ni stratification.

Tel est le contenu des cellules du parenchyme. Dans les nervures et les épidermes, il diffère d'abord par l'absence complète de grains d'amidon, et parce que les grains d'aleurone deviennent très petits, se réduisent à l'état de granulations.

GERMINATION.

FORME EXTÉRIEURE. — Pendant la germination, le cotylédon s'agrandit dans tous les sens ; de 12 millimètres de longueur sur 8 de largeur qu'il avait dans la graine au repos, il arrive à 17 et à 10 millimètres pour les mêmes dimensions. Il verdit après quelque temps d'exposition à la lumière ; enfin, vers le terme de son existence, il se ratatine en se ridant assez fortement dans le sens longitudinal.

TISSUS. — Les cellules épidermiques ne font que s'étendre. Quant au parenchyme, on observe qu'il s'est formé dans le tissu à disposition radiale situé à la face supérieure du cotylédon, par des cloisons parallèles à cette face, une dizaine de nouvelles cellules. Cette prolifération, qui a surtout son siège contre l'épiderme, n'augmente pas sensiblement l'épaisseur de l'organe.

Il ne s'est pas formé de nouvelles nervures ; la nervation a donc conservé la même disposition. Le perfectionnement des faisceaux est très restreint ; il consiste en la différenciation de quelques vaisseaux, que l'on trouve épars à la face supérieure des nervures. Les plus grosses de celles-ci, par l'établissement d'une zone génératrice, ont acquis en outre quelques vaisseaux ligneux secondaires. Le liber est partout resté mou.

CONTENU CELLULAIRE. — *Corps protoplasmique.* — L'enduit pariétal protoplasmique subsiste toujours. Au moment où

le cotylédon revient à la vie active, cet enduit s'épaissit d'une façon assez notable, et devient granuleux sur sa face interne. Vers la fin de la germination, il éprouve une modification inverse; dans les parties du parenchyme éloignées des faisceaux libéro-ligneux et de l'épiderme, il disparaît même presque complètement.

Dérivés du protoplasma. — Trois phases se succèdent pendant la germination dans l'état des réserves : 1° les grains d'aleurone disparaissent; 2° il se produit des grains d'amidon; 3° l'amidon est dissous plus ou moins complètement.

Il est intéressant de s'occuper avec quelques détails de chacune de ces trois phases.

Pendant la première, les grains d'aleurone se résorbent donc, l'amidon n'éprouvant aucune altération. Deux processus, ne différant peut-être que par la façon dont ils se localisent sur les grains d'aleurone, amènent leur dissolution. Dans l'un d'eux, il se produit, par dissolution de la substance, de petites cavités distribuées dans toute l'étendue du grain, mais plus abondantes à la périphérie; il en résulte que le corps aleurique perd son contour net, et que ses bords deviennent déchiquetés, pendant qu'à l'intérieur de sa masse les vides donnent des taches claires irrégulièrement dispersées (pl. 6, fig. 76, *a*). Ces places vides de substance s'agrandissent de plus en plus et finissent par devenir confluentes, en même temps qu'elles diminuent les dimensions du grain par l'usure de sa surface; elles ne tardent donc pas à le faire tomber en lambeaux; ceux-ci continuant à se dissoudre, il ne reste bientôt plus trace du grain d'aleurone.

Dans le second mode de dissolution, le grain est attaqué par un point seulement de sa surface, et il se forme là une cavité circulaire qui lui est intérieurement tangente (pl. 6, fig. 76 *b*). Le point où cette dissolution commence paraît être celui où se trouve le globoïde, situé, comme on sait, à la limite du corps aleurique. Cette enclave minérale disparaît tout d'abord, et c'est à sa place que se trouve le petit vide dont il vient d'être question. Cette cavité s'agrandit, restant toujours tangente in-

térieurement à la surface du grain ; elle transforme celui-ci en un croissant dont l'épaisseur diminue de plus en plus et qui finit par disparaître.

Il peut se présenter une modification à ce dernier cas. Quelquefois l'agent dissolvant, au lieu de détruire les parties les plus extérieures du grain, comme il vient d'être décrit, en laisse subsister une mince pellicule plus ou moins plissée (pl. 6, fig. 76, *d*). Ceci nous indique que les couches superficielles du grain d'aleurone, consistant, comme les parties internes, en matière albuminoïde, en diffèrent cependant par leurs propriétés physiques, et par la façon dont agit sur elles le dissolvant spécial de l'aleurone.

Si j'ai jusqu'ici considéré ces deux modes de dissolution comme isolés, c'est afin de simplifier la description. En réalité, on ne rencontre seul que le premier processus; le second est toujours aidé du premier. En même temps que le volume du grain diminue par l'agrandissement de la cavité qui s'y forme tangentiellement, la partie restante est elle-même criblée de centres de destruction isolés, qui vont se rapprochant (pl. 6, fig. 76, *c*, *d*, *e*). La dissolution du grain marche alors avec rapidité.

Le deuxième stade établi ci-dessus dans la germination de l'*Arachis hypogæa* est caractérisé principalement par la naissance de l'amidon secondaire. A ce moment, la couche pariétale de protoplasma, que l'on a vue subsister jusque vers la fin de la germination, s'est épaissie, est devenue très granuleuse sur sa face interne et semble avoir repris une grande activité. Elle produit bientôt par simple épaississement, des leucites hémisphériques qui lui restent adhérents, et dans chacun desquels il se forme un grain d'amidon, composé de dix à douze grains partiels. Ceux-ci, d'abord très petits et séparés les uns des autres, s'accroissent jusqu'à se mettre en contact et à résorber presque complètement la substance du leucite. Adoptant la dénomination usitée déjà par quelques auteurs, je désignerai cet amidon qui se produit pendant la germination et que nous rencontrons pour la première fois, par opposition à

celui qui se forme avant la maturité de la graine, sous le nom d'*amidon secondaire* ou de *seconde formation*.

En même temps que l'amidon secondaire, il apparaît dans les cellules des formations globuleuses pouvant se rattacher à quatre types. Les unes, de très petite taille (pl. 6. fig. 81. *a*), se groupent en grand nombre pour former des amas ressemblant à des grappes. Parmi les autres, beaucoup plus volumineuses et dont le diamètre peut dépasser deux fois celui des plus gros grains d'aleurone, on en voit qui portent à leur surface des mamelons nombreux irrégulièrement distribués (pl. 6, fig. 81, *b*, *c*); quelques-unes sont des masses elliptiques, sur lesquelles on remarque un réseau à mailles fines un peu allongées dans le sens du rayon (pl. 6, fig. 81, *d*). Enfin, j'ai observé une fois une quatrième forme; c'était un corps assez régulièrement sphérique, à bords un peu déchirés, qui paraissait composé de sphères creuses emboîtées les unes dans les autres.

Tous ces corps, à quelque forme qu'ils appartiennent, possèdent les caractères communs suivants : ils sont très réfringents; l'eau les dissout lentement, mais il en reste une mince pellicule se colorant en jaune par l'iode; traités par la potasse en solution même très étendue ($\frac{1}{100}$), ils disparaissent rapidement et la membrane précédente n'est pas conservée; après macération dans la solution alcoolique de sublimé, ils sont devenus insolubles dans l'eau; traités par l'iode, ils se colorent en jaune brun; au contact de l'éosine, ils prennent une coloration d'un beau rouge carmin. Ces corps se comportent donc, aussi bien avec les réactifs dissolvants qu'avec les colorants, exactement comme les matières albuminoïdes. Il ne rentre pas dans le cadre de ce travail, conçu exclusivement au point de vue morphologique, de rechercher de quelle variété de substance albuminoïde ils sont composés.

La germination se termine par la résorption des grains d'amidon de première et de seconde formation, et par celle des corps dont on vient de parler. La dissolution a lieu d'une manière égale sur la surface du grain. Dans le cotylédon prêt à tomber qui a diminué considérablement de volume, ces

substances sont en assez faible quantité, mais n'ont pas disparu entièrement; on les retrouve principalement dans le voisinage des faisceaux vasculaires.

Les trois phases de la germination de l'*Arachis hypogœa* étant examinées, il reste à parler d'un phénomène qui se produit peu de temps après que les cotylédons se sont étalés à la lumière, et qui ne paraît avoir aucune relation avec la nature du contenu cellulaire : c'est le verdissement de la feuille embryonnaire. Il ne se forme pas de grains de chlorophylle, c'est-à-dire de corps spéciaux servant de substratum à la matière colorante; elle se dépose indifféremment sur tous les corps figurés de la cellule, grains d'amidon, grains d'aleurone, corps protoplasmique.

PHASEOLUS VULGARIS L.

GERMINATION.

La graine du Haricot ordinaire est une de celles dont la germination a été le plus étudiée. M. Sachs s'en est d'abord occupé au point de vue des transformations et de la migration des substances de réserve. Gris en a repris l'examen dans ses recherches anatomiques et physiologiques sur la germination; et enfin, plus près de nous, MM. Haberland et Mikosch ont trouvé dans le cotylédon du Haricot en germination des faits sur lesquels ils appuient une manière de voir particulière sur la naissance des grains de chlorophylle (1). N'étant pas d'accord avec ces deux auteurs, je dois rapporter mes propres observations.

TISSUS. — *Epiderme.* — La forme externe du cotylédon de Haricot est trop connue pour que je m'y arrête, et je passe tout de suite à sa structure interne.

Les deux épidermes sont simples, composés de cellules tabulaires dont la forme et les dimensions varient d'une face à

(1) Les titres de ces mémoires se trouvent au chapitre de l'historique, p. 9.

l'autre du cotylédon. A la face supérieure, les cellules sont allongées suivant l'axe du cotylédon. A la face inférieure, les cellules isodiamétriques et disposées sans ordre, sont bien plus petites que sur le côté opposé; leur diamètre n'atteint pas la plus petite dimension des cellules de l'épiderme supérieur.

Il n'y a pas de stomates à cet état.

Une mince cuticule s'étend sur toute la surface de l'organe.

Parenchyme. — Ce tissu est constitué par des cellules polyédriques à parois assez épaisses et cellulosiques, superposées au nombre de vingt-cinq à trente dans la plus grande épaisseur du cotylédon. Ces cellules laissent entre elles de très faibles méats. On remarque, sur les parties de membranes qui séparent deux cavités cellulaires voisines, des réseaux très élégants de ponctuations simples, peu profondes.

Nervation. — Les nervures, encore à l'état procambial, émergent de la tigelle au nombre de six à huit, puis se dirigent, parallèles entre elles, vers le sommet du cotylédon. Elles émettent, dans leur course, quelques ramifications peu importantes, s'anastomosant quelquefois. La nervation, peu développée, est donc palmée et anastomosée.

CONTENU CELLULAIRE. — Les cellules du cotylédon sont comblées par des grains d'amidon volumineux, dont trois ou quatre peuvent occuper tout le diamètre de la cellule. Leurs caractères sont d'ailleurs connus. Toute la surface de l'utricule protoplasmique est couverte de très fins granules de matière azotée, exactement placés les uns à côté des autres comme des pavés; ce sont les grains d'aleurone.

Au voisinage de l'épiderme inférieur, le contenu des cellules subit quelques modifications. Le rang immédiatement en contact avec ce tissu ne contient que des grains d'aleurone. Le deuxième rang renferme déjà quelques grains d'amidon, mais encore petits et rares. A partir de là, les grains d'amidon augmentent en nombre et en volume, et dès le cinquième ou sixième rang vers l'intérieur, les cellules ont la composition de celles du centre de l'organe.

Les éléments des épidermes et des nervures sont remplis de grains d'aleurone semblables à ceux du parenchyme, mais non accompagnés de grains d'amidon.

GERMINATION.

TISSUS. — Les tissus varient peu pendant la germination. L'épiderme inférieur seul forme des stomates, par la division, en deux cellules filles de bordure, d'une cellule épidermique qui ne paraît pas différer des autres. La formation des stomates est contemporaine de la différenciation des premières trachées dans les nervures, et de l'apparition, dans les cellules parenchymateuses, des premiers grains d'amidon secondaire.

La seule modification que subit le parenchyme est un amincissement considérable des membranes cellulaires : elles constituaient donc pour l'embryon une réserve de cellulose.

Les nervures, dont le cours ne se modifie plus, acquièrent quelques trachées à leur face supérieure et quelques assises de cellules cambiales ne formant pas une couche continue. Le liber reste mou.

CONTENU CELLULAIRE. — Les grains d'aleurone commencent à disparaître. Puis il se forme de l'amidon secondaire, qui vient se joindre à l'amidon primaire signalé à la période de repos de la graine. La naissance de l'amidon est particulièrement abondante et précoce autour des faisceaux libéroligneux, et de là s'étend dans le parenchyme.

Les grains d'amidon naissent à l'intérieur de leucites développés, comme on l'a vu chez l'Arachide et comme on le verra dans plusieurs autres graines, à la face interne de la couche pariétale de protoplasma. A l'intérieur de chacun de ces leucites, il se forme un grain d'amidon composé qui envahit bientôt tout le leucite et le fait disparaître.

Les cotylédons du Haricot vulgaire sont épigés ; quelque temps après qu'ils se sont étalés à la lumière, ils verdissent. Ce phénomène a lieu alors que l'amidon secondaire a déjà pris naissance dans les leucites.

La fin de la germination est marquée par la résorption de

tous les grains d'amidon ; il en subsiste cependant toujours quelques-uns autour des nervures. Mais une fois l'amidon secondaire disparu, il ne reste plus trace des leucites qui le contenaient.

ERYTHRINA CRISTA-GALLI.

La graine de l'Érythrine ne présente pas de différence essentielle avec celle du Haricot, aussi ne m'arrêterai-je que sur quelques points spéciaux.

L'épiderme simple et sans stomates, à cellules isodiamétriques, recouvre un parenchyme homogène à membranes minces et ponctuées. Les espaces intercellulaires de ce tissu sont très développés et encore agrandis par ce fait que les parois qui les limitent se bombent fortement vers les cavités des cellules. Il en résulte un tissu très léger, où les méats aérifères entrent pour autant que les cellules (pl. 2, fig. 19). M. Van Tieghem a appelé sur ce point l'attention des botanistes (1). Lorsque le cotylédon est mouillé, les membranes qui confinent aux lacunes se bombent en sens inverse, et le tissu reprend l'aspect habituel (pl. 2, fig. 20).

La nervation, encore à l'état procambial, a la même disposition que chez le Haricot.

Les cellules du parenchyme contiennent des grains d'aleurone un peu plus volumineux que ceux de la graine précédente et adhérents comme eux à l'enduit protoplasmique pariétal. Si l'on dissout ces corps, le protoplasma présente une réticulation régulière dont chaque maille contient un grain d'aleurone. On y trouve mêlés quelques grains d'amidon de très petite dimension, qui ne peuvent même s'apercevoir qu'après que l'on a traité les coupes par une solution étendue de potasse. Ils sont situés sur les bandelettes du réseau, et quelquefois à leur intersection.

Pendant le développement intra-ovarien de ce cotylédon,

(1) Ph. Van Tieghem, *Observations sur la légèreté spécifique et la structure de l'embryon de quelques Légumineuses* (*Mém. de la Soc. des Sc. nat. de Cherbourg*, XIX, 1875).

j'ai observé que ses tissus sont déjà entièrement formés alors que le cotylédon, encore petit, atteint à peine la moitié de ses dimensions linéaires définitives. A partir de ce moment, l'organe ne s'accroît plus que par l'agrandissement des cellules préexistantes; il ne s'en produit plus de nouvelles.

Le cotylédon s'imbibant d'eau dès qu'il est mis en germination, les cellules de son parenchyme reprennent leur forme de l'état de turgescence. Il n'apparaît pas de stomates durant cette période.

LATANIA BORBONICA Lam.

LA GRAINE MURE.

Cotylédon.

FORME EXTÉRIEURE. — La forme externe de l'embryon du Latanier se rapproche beaucoup de celle du Dattier, que M. Sachs a étudié à l'état de repos et pendant la germination (1). Il présente l'aspect d'un tronc de cône de 3 à 4 millimètres de hauteur, sur 2 millimètres et demi de diamètre de grande base; il est logé dans une cavité située à la surface de l'albumen, vers le milieu de sa face latérale, à l'opposite de la chalaze. Sur l'axe longitudinal de ce tronc de cône et près de sa base, se trouve une petite cavité occupée par la gemmule. Le cotylédon est représenté par la coiffe cylindro-conique qui recouvre ce bourgeon initial; c'est de cette partie seule que nous devons nous occuper.

TISSUS. — *Épiderme.* — L'épiderme qui recouvre ce cotylédon se compose de cellules pavimenteuses légèrement allongées perpendiculairement à la surface de l'organe. Les parois de ces cellules sont minces, à l'exception de la paroi externe, légèrement épaissie et revêtue, vers le dehors, d'une lamelle extrêmement délicate de cutine. Malgré leur peu d'épaisseur, les membranes de ces cellules, excepté toutefois l'externe, offrent sur leurs deux faces des ponctuations réticulées très fines, allongées, qui leur donnent une apparence striée.

(1) Sachs, *Zur Keimungsgeschichte der Dattel* (*loc. cit.*).

Cette disposition se retrouve dans les cellules suivantes, qui composent le parenchyme fondamental de l'organe.

Parenchyme. — Il est constitué par des cellules irrégulièrement polygonales, un peu arrondies à leurs angles, où se trouvent de petits méats aérifères. Ces cellules, assez petites contre l'épiderme et au voisinage des nervures, augmentent progressivement de dimension à mesure qu'elles se rapprochent du centre; leurs parois sont minces et cellulosiques.

Nervation. — Au-dessous du bourgeon caulinaire initial, par conséquent sur l'axe de l'organe, on voit un noyau de tissu méristémateux qui émet quatre ou cinq cordons. Ceux-ci se dirigent obliquement et en rayonnant en haut et vers le dehors, en s'écartant progressivement l'un de l'autre; dans ce trajet, ils viennent passer près du bourgeon, puis se dirigent à peu près en ligne droite sur le bord du cotylédon, qu'ils atteignent vers son tiers inférieur (pl. 2, fig. 22).

Les nervures, au fur et à mesure qu'elles s'écartent l'une de l'autre et se rapprochent de l'épiderme, se ramifient suivant deux directions. Elles fournissent d'abord des branches latérales qui se placent entre elles, comblant ainsi l'intervalle de plus en plus grand qui résulte de leur écartement, et qui suivent désormais la même marche que les nervures primitives. Arrivés près du bord du cotylédon, sous l'épiderme, tous ces cordons gagnent le sommet de l'embryon, se tenant toujours parallèles entre eux; ils se rejoignent à l'extrémité supérieure de l'organe, en formant un réseau à mailles rayonnantes.

Il résulte de là que les nervures primitives, avec leurs ramifications latérales, forment un système enveloppant le cotylédon tout entier. Cette disposition est représentée par les figures 22 et 23 (pl. 2), dont la première reproduit une coupe longitudinale médiane de l'organe, et l'autre une coupe transversale.

Nous avons dit que des nervures primitives se détachaient deux ordres de nervures secondaires: les premières, que nous venons d'examiner, sont des ramifications latérales; les secondes naissent au contraire sur la face supérieure ou in-

terne des précédentes, et gagnent la partie centrale de l'organe, où elles demeurent éparses et se ramifient (figures précédentes).

CONTENU CELLULAIRE. — *Corps protoplasmique.* — Ce corps consiste en une couche excessivement mince de protoplasma, contre laquelle on voit, dans plusieurs cellules, un noyau contenant un petit nucléole réfringent.

Dérivés du protoplasma. — Le contenu des cellules varie du sommet à la base du cotylédon. Au sommet, elles sont remplies de grains d'aleurone irréguliers, sans enclaves, dont quelques-uns sont sphériques, les autres anguleux. Lorsque l'on se rapproche de la base du cotylédon, les grains d'aleurone deviennent de plus en plus petits, passent à l'état de granules, et enfin disparaissent complètement dans l'anneau d'insertion du cotylédon. Les cellules conservent donc, en cet endroit, le caractère des cellules végétatives ordinaires. On verra bientôt d'ailleurs que ce sont ces éléments qui produisent, pendant la germination, l'élongation du cotylédon, le sommet restant inclus dans l'albumen.

Albumen.

FORME EXTÉRIEURE. — L'albumen du Latanier a la forme générale bien connue de tous ceux de la famille des Palmiers. Il est elliptique, un peu atténué aux extrémités, et mesure environ 15 millimètres de longueur, sur 8 de plus grand diamètre transversal.

TISSUS. — Le tissu de l'albumen consiste principalement en cellules étroites et allongées, à cloisons de séparation transversales ou obliques. Ces éléments sont disposés en rayonnant tout autour de la chalaze, ce qui fait que, sur une section de faible étendue, ils paraissent parallèles ; ils ne laissent nulle part, entre eux, le plus petit espace.

Les cellules présentent les caractères que l'on est habitué à trouver chez les albumens cornés. Les membranes, très épaisses, sont creusées de ponctuations circulaires rappro-

chées, à l'endroit desquelles les cellules voisines ne sont plus séparées que par un mince diaphragme. Sur une coupe transversale, ces cellules montrent une cavité irrégulièrement polygonale, isodiamétrique. Vers l'extérieur de l'albumen, les parois deviennent plus minces et ne portent plus de ponctuations (pl. 2, fig. 21).

Enfin, l'albumen tout entier est recouvert d'une assise de cellules aplaties, tabulaires, très allongées. Cette couche de revêtement forme à l'albumen une sorte d'épiderme qui le termine vers le dehors et l'isole des tissus environnants. Les membranes de cette couche sont minces et colorées en brun. La cavité est remplie d'une substance solide, brune, subéreuse, que l'on rencontre souvent dans les éléments des enveloppes séminales.

Les parois du parenchyme de l'albumen sont de nature cellulosique ; celles de l'épiderme présentent les caractères du suber.

CONTENU CELLULAIRE. — On trouve dans les cellules de l'albumen le même contenu que dans celles de l'embryon. Une couche protoplasmique mince tapisse de toutes parts la membrane. Dans bon nombre de cellules, on voit très bien le noyau avec son nucléole. La cavité est remplie de grains d'aleurone petits, globuleux, sans enclaves. Il n'y a pas trace d'amidon.

GERMINATION.

Cotylédon.

FORME EXTÉRIEURE. — Le petit corps cotylédonnaire décrit à l'état latent s'accroît considérablement pendant la germination ; il fait bientôt saillie hors de la cavité qui le contient, et, à partir de ce moment, se divise en deux parties distinctes sous tous les rapports : l'une reste incluse dans l'albumen, l'autre lui devient extérieure ; les deux sont réunies par un pédicule étranglé.

Le corps intérieur à l'albumen ou tête du cotylédon se renfle

d'abord en sphère, puis, s'accroissant beaucoup dans le sens horizontal, prend la forme d'une coupe dont la cavité est occupée par la chalaze; au fur et à mesure qu'il dissout l'albumen, il en occupe la place, et finalement en prend la forme. La portion extérieure, ou pied du cotylédon, s'allonge beaucoup; elle atteint jusqu'à 4 centimètres de longueur; sa moitié supérieure est toujours cylindrique et pleine; sa moitié inférieure, un peu aplatie, est creusée d'une cavité longitudinale où passe l'axe de la jeune plante.

Les figures données par M. Sachs, dans le mémoire cité plus haut, pour la germination du Dattier, peuvent servir pour celle du Latanier.

TISSUS. — *Épiderme.* — Dès que la partie saillante du cotylédon a atteint 3 centimètres de longueur, elle se dégarnit d'épiderme vers sa base. Au fur et à mesure que la germination avance, la chute de l'épiderme gagne la partie supérieure du pied. Le rôle protecteur de l'épiderme est rempli alors par les assises externes des cellules parenchymateuses, qui se subérifient dans ce but. La tête du cotylédon conserve toujours son épiderme; les cellules y présentent le même caractère qu'à l'état de repos; étendues radialement et recouvertes d'une très mince cuticule, elles ne s'accroissent que peu, en sorte que pour suivre l'agrandissement considérable de l'organe, elles se divisent abondamment.

L'extension de la cavité contenant le bourgeon caulinaire amène le développement d'un épiderme qui a été négligé, à cause de son peu d'importance, dans l'étude du cotylédon à l'état de maturité. Cet épiderme intérieur est formé de cellules isodiamétriques à faces polygonales, recouvertes d'une mince couche de cutine.

Parenchyme. — Dans la tête du cotylédon, les cellules s'étendent considérablement, surtout dans le sens radial; elles atteignent dans cette direction jusqu'à huit fois leur dimension à l'état de vie latente; de plus, elles deviennent rameuses, ne se touchent plus que par l'extrémité des rameaux qu'elles ont

émis. C'est uniquement par agrandissement et disjonction des cellules que le volume de cette partie a augmenté ; la division cellulaire n'y prend aucune part. L'accroissement de la tête cotylédonaire n'est donc pas produit ici, comme M. Sachs l'a constaté chez le Dattier, par la multiplication des cellules placées sous l'épiderme. Le tissu, rempli de lacunes à air, devient mou et spongieux; il a la couleur blanc laiteux des tissus aérifères. Les parois cellulaires conservent leur grande minceur et leur composition chimique.

Dans la partie du cotylédon qui se développe hors de la graine, les cellules se divisent d'abord pour produire l'allongement de ce membre, mais bientôt elles ne font plus que s'étendre dans le sens longitudinal, et elles atteignent, dans cette direction, cinq fois leur dimension dans l'embryon au repos; elles prennent la forme d'éléments très allongés, laissant entre eux de petits méats aérifères; leurs parois demeurent en général minces. Cependant à la partie supérieure du pied, près de son entrée dans l'albumen, elles s'épaississent beaucoup en restant cellulosiques ; dans l'étranglement qui le relie à la tête, on trouve à l'intersection des parois, à la place des méats des autres cellules, de petites masses de substance mucilagineuse qui s'étendent quelquefois dans la paroi, au lieu et place de la lamelle intercellulaire.

On a déjà vu que l'épiderme finit par tomber en totalité, sur cette portion du cotylédon; pour remplacer ce tissu, les cellules subissent quelques divisions par des cloisons tangentielles, et les nouvelles cellules se subérifient. Il y a donc là formation d'un véritable liége.

Nervation. — Il ne se forme pas de nouveaux faisceaux pendant la période germinative; mais ceux qui existaient dès l'état latent modifient assez notablement leur course, par suite de l'augmentation de volume de la tête cotylédonaire, de l'élongation du pied, et de la sortie de l'axe de la jeune plante à travers la gaine cotylédonaire.

Dans la tête développée du cotylédon, on retrouve les nervures ramifiées de la partie supérieure de l'embryon à l'état

de repos (pl. 2, fig. 28) ; elles ne font que se courber vers l'extérieur pour vasculariser les parties latérales de la cupule. Les faisceaux externes contournent la surface externe de cette cupule, et viennent se rejoindre sur sa face supérieure, en formant un réseau à mailles toutes fermées et rayonnantes (pl. 2, fig. 29). Dans le pied, les nervures sont parallèles et peu ramifiées; elles proviennent, en effet, de la partie inférieure des nervures du cotylédon, et l'on se rappelle que là elles n'ont encore émis que peu de rameaux. Les faisceaux s'écartent latéralement pour laisser passer la jeune pousse; en sorte qu'à la partie inférieure de la gaine, ils sont disposés en cercle; puis un peu plus haut en ellipse; enfin, l'axe de la tige commençant à s'écarter de l'axe de l'embryon, ils se distribuent en fer à cheval, et plus tard se rangent de nouveau en cercle (pl. 2, fig. 24 à 27).

Les nervures, d'abord à l'état procambial, s'épaississent bientôt par le jeu d'une couche génératrice tangentielle qui produit des deux côtés des éléments procambiaux; on la retrouve encore alors que la nervure a déjà commencé à se différencier (pl. 3, fig. 43). C'est seulement lorsqu'il a pris, par le mécanisme précédent, un certain développement, que le faisceau forme du bois sur sa face interne et du liber sur sa face externe. L'îlot de bois demeure toujours très restreint; dans le liber, il se forme un paquet de fibres très développé, principalement vers l'extérieur, et qui entoure les vaisseaux à la manière d'un fer à cheval (pl. 5, fig. 62). Il reste une certaine quantité de liber qui ne s'épaissit pas. La nervure n'acquiert cette solidité qu'au milieu de la longueur du cotylédon; en se rapprochant des extrémités, le faisceau fibreux du liber diminue progressivement d'importance, et a complètement disparu à l'extrémité des nervures de la tête.

Contenu cellulaire. — Le corps protoplasmique ne se modifie pas pendant la germination; il consiste toujours en une couche pariétale de protoplasma, dans laquelle est plongé le noyau.

La région inférieure du cotylédon, extérieure à l'albumen, ne contient jamais de réserves figurées ; il n'y a donc à s'occuper que de la tête cotylédonaire.

Dès les premiers jours de la germination, les grains d'aleurone se résorbent ; ils se corrodent irrégulièrement, se creusent d'anfractuosités, puis tombent en poussière ; ils finissent bientôt par disparaître complètement. A ce moment, apparaissent les premiers grains d'amidon, sous forme de granules très petits, rassemblés en plus ou moins grand nombre, et appliqués à la face interne de l'utricule protoplasmique. L'apparition des premiers grains d'amidon coïncide avec la différenciation, dans les cordons procambiaux, de la première trachée. Ces grains d'amidon s'accroissent ensuite, et atteignent leur maximum d'abondance et de grosseur au moment où la gemmule sort de la gaîne cotylédonaire ; à partir de ce moment, ils se résorbent peu à peu par dissolution égale, et, lorsque l'albumen est complètement détruit, on n'en trouve plus que quelques-uns épars dans les cellules ; ils ne disparaissent jamais complètement.

Des raphides d'oxalate de chaux se forment, au début de la germination, dans le pied du cotylédon, dans la partie du parenchyme située en dehors du cercle des faisceaux ; plus tard ces formations se produisent aussi dans la tête. Elles ne sont pas résorbées.

Albumen.

La forme ni les dimensions de l'albumen ne se modifient pendant la germination ; on sait, en effet, qu'il est résorbé par l'intérieur, au fur et à mesure que la tête cotylédonaire se développe.

Les cellules de l'albumen non en contact direct avec le cotylédon ne sont altérées en aucune de leurs parties. Dans celles qui confinent à ce tissu, le protoplasma et les grains d'aleurone ont disparu ; quant aux membranes, elles ne sont dissoutes qu'au contact immédiat de l'épiderme cotylédonaire ; dans le reste de leur étendue, elles conservent leur

épaisseur et leur nature chimique initiales. Pendant la germination, l'albumen se montre donc passif.

ASPARAGUS MARITIMUS Pall.

Je n'ai étudié cette graine qu'au point de vue du développement des membranes de l'albumen.

A l'état de maturité, cet albumen présente comme structure les mêmes caractères que ceux des Palmiers. Les membranes, épaisses, portent des ponctuations simples, circulaires, fermées par un mince diaphragme. Mais tandis que l'iode ne colore pas la cellulose de l'albumen des Palmiers, il colore au contraire, en solution concentrée, celle de l'*Asparagus maritimus* en brun violacé intense.

Les cellules contiennent des grains d'aleurone sphériques, sans enclaves, et un peu d'huile.

J'ai commencé l'examen de l'albumen au moment où toutes ses cellules sont formées. Les membranes sont alors de la plus grande minceur et cellulosiques. Leur épaississement a lieu par apposition progressive de substance cellulosique sur les deux faces de la membrane primitive. On ne rencontre d'amidon dans les cellules à aucun moment du développement.

ZEA MAYS L.

La germination du Maïs a été étudiée par M. Sachs (1) et par A. Gris (2). M. Van Tieghem (3), en vue de déterminer la valeur morphologique du scutelle des Graminées, a recherché le mode de nervation de cet organe. Il a reconnu que chez le Maïs, un faisceau libéro-ligneux se détache latéralement de la tigelle et se trifurque. La branche médiane continue son chemin, se rend dans l'écusson, qu'elle traverse dans sa plus

(1) J. Sachs, *Zur Keimungsgeschichte der Gräser* (*loc. cit.*).

(2) A. Gris, *De l'organisation du scutelle dans le Maïs* (*loc. cit.*). — *Recherches anatomiques et physiologiques sur la germination* (*loc. cit.*).

(3) Ph. Van Tieghem *Observations anatomiques sur le cotylédon des Graminées* (*loc. cit.*).

grande longueur et en émettant deux petites branches latérales qui se rendent aux oreillettes. Les deux rameaux externes sont destinés à la piléole.

La forme externe de la graine du Maïs est bien connue; des mémoires précédents et de mes propres observations résulte la description suivante de la structure interne de cette graine, à l'état de vie latente et pendant la germination.

LA GRAINE MURE.

Cotylédon.

Le scutelle étant considéré comme le représentant morphologique du cotylédon, c'est de cette partie seule que je m'occuperai.

Tissus. — Sur sa face interne, celle qui est en contact avec l'albumen, l'écusson du Maïs est recouvert d'un épiderme cylindrique dont les éléments sont dirigés perpendiculairement à la surface. Leur longueur est trois fois plus considérable que leur largeur; sur une coupe tangentielle leur cavité présente, par suite d'un épaississement considérable des parois à leur intersection, une figure circulaire ou elliptique.

L'épiderme externe, au contraire, se compose de cellules tabulaires aplaties, à contour assez régulièrement polygonal. Il n'y a de stomates sur aucune des faces de l'organe.

Le parenchyme est constitué par des cellules polyédriques irrégulières, à parois épaisses, munies de ponctuations simples très rapprochées. A l'intersection des cellules existent de petits méats.

Les nervures, sur la course desquelles je ne reviendrai pas, sont à l'état procambial.

Les membranes de ces différents tissus présentent la réaction de la cellulose. Une couche de cutine, très mince sur la face interne, plus épaisse sur la face externe, recouvre l'épiderme.

Contenu cellulaire. — Les cellules du parenchyme contiennent une grande quantité d'aleurone en grains petits,

sphériques, sans enclaves. Dans chaque cellule on remarque en outre quelques grains d'amidon un peu plus volumineux que ceux d'aleurone.

Dans les épidermes et les nervures, on trouve des grains d'aleurone comme partout ailleurs, mais beaucoup plus petits.

Albumen.

TISSUS. — La face externe de l'albumen est limitée par une assise de cellules cylindriques dont la hauteur dépasse peu la largeur. Leurs membranes, surtout l'externe, sont très épaissies. Cette couche, dont la structure diffère de celle des cellules sous-jacentes, forme un épiderme protecteur à l'albumen; elle a déjà été constatée par M. Trécul chez le Froment (1). Je me suis assuré, par l'examen d'une série d'états jeunes, que cette assise provient du rang externe du jeune albumen, dont les éléments ont suivi un développement différent de ceux du centre de l'organe.

Le parenchyme comprend des cellules à parois minces, sans méats. Dans la partie externe, de couleur jaune et de consistance cornée, les parois sont planes et les cellules exactement polyédriques; dans la partie externe, blanche et friable, les cellules deviennent irrégulières.

Toutes les membranes sont de nature cellulosique; une cuticule assez forte tapisse extérieurement l'épiderme.

CONTENU CELLULAIRE. — Les cellules du parenchyme sont remplies de grains d'amidon dont la forme bien connue ne nous arrêtera pas. C'est la seule réserve figurée de l'albumen.

L'épiderme ne renferme qu'un protoplasma granuleux, et par là contraste encore davantage avec le parenchyme.

(1) Trécul, *Composition du son et structure du Froment* (*Comptes rendus*, 1857, t. XLIV, p. 450), avec une planche.

GERMINATION.

Tissus. — Les tissus ne se modifient pas pendant la germination; quelques trachées se forment seulement dans les nervures.

Contenu cellulaire. — L'amidon contenu dans l'albumen se dissout de la face interne à la face externe de l'organe. A la fin de la germination, il en reste toujours en assez grande quantité. La résorption des grains d'amidon a lieu par dissolution locale. M. Sachs a donné de ces grains corrodés des figures d'une parfaite exactitude.

Le scutelle se comporte pendant la germination comme les autres cotylédons aleurifères. Les grains d'aleurone y disparaissent d'abord, puis naissent des grains d'amidon secondaire, qui sont à leur tour dissous. Mais tandis qu'habituellement l'altération des grains d'amidon a lieu simultanément dans toute l'épaisseur du cotylédon, ici elle progresse de la partie de l'écusson en contact avec l'axe de l'embryon, vers la partie externe. Le scutelle est donc divisé, quant au contenu de ses cellules, en deux zones nettement séparées; l'interne ne contient plus trace de grains d'amidon, et dans l'externe ils ne sont pas altérés.

Sachs et Gris ne sont pas d'accord au sujet du rôle de l'albumen du Maïs pendant la germination. Le premier de ces auteurs soutient que l'amidon de l'albumen, traversant sous forme de dissolution l'épiderme cotylédonaire, se précipite en grains d'amidon dans le parenchyme du scutelle. Gris, au contraire, prétend que l'amidon né pendant la germination dans le cotylédon provient des réserves de cet organe, de l'huile par exemple, et que l'amidon de l'albumen ne fait que traverser l'écusson comme un filtre pour se rendre dans l'axe de la jeune plante, où seulement il se précipite.

Gris donne comme raison à son assertion que les grains d'amidon de seconde formation sont simples dans le Maïs, tandis qu'habituellement, dans les mêmes conditions, ils sont

composés. Cette observation n'a évidemment aucune valeur pour réfuter la provenance étrangère de l'amidon du scutelle.

En outre, j'ai fait germer, à plusieurs reprises, des embryons de Maïs privés de leur albumen. Toujours ils se sont rapidement développés, ont donné plusieurs feuilles bien conformées et ont épuisé leur cotylédon. Or, à aucun moment de la germination, je n'ai trouvé, dans ces conditions, de grains d'amidon de nouvelle formation dans le scutelle. L'absence d'albumen entraînant la non-formation d'amidon secondaire dans le cotylédon, il faut admettre, avec M. Sachs, que cette substance provient de l'albumen.

COULTERIA TINCTORIA H. et B.

LA GRAINE MÛRE.

FORME EXTÉRIEURE. — La graine de *Coulteria tinctoria* est elliptique, un peu aplatie parallèlement à la commissure cotylédonaire; sa longueur varie de 8 à 10 millimètres, sa largeur de 6 à 7, et son épaisseur de 4 à 5. Elle renferme une amande de même forme, composée d'un albumen et de l'embryon.

L'albumen enveloppe l'embryon de toute part, en présentant sur les faces de ce dernier une épaisseur maximum de 1 millimètre; il est dur, cassant, un peu transparent, en un mot d'apparence cornée ; il se gonfle légèrement dans l'eau et devient glutineux.

L'embryon est droit et coloré en jaune; il se compose d'un petit axe que nous négligeons, et de deux cotylédons égaux qui en forment la masse la plus importante. Le cotylédon présente la forme d'une ellipse un peu tronquée à ses extrémités; sa longueur est de 7 millimètres, sa largeur de 5 et son épaisseur de 1 millimètre 1/4; il est plan-convexe, et porte sur ses deux faces un réseau en creux dont les veines correspondent aux cordons de sa nervure.

Nous étudierons successivement le cotylédon et l'albumen.

Cotylédon.

Tissus. — *Épiderme*. — Un épiderme à un seul rang de cellules recouvre toute la surface du cotylédon. Les éléments qui le constituent sont des tables polygonales variant quelque peu d'une face à l'autre de la feuille embryonnaire. A la face supérieure, les cellules, plus grandes, ont la membrane externe moins épaisse qu'à la face inférieure; l'épiderme supérieur diffère encore de l'épiderme inférieur parce qu'il possède exclusivement des ébauches de stomates. De distance en distance on voit, sur cette couche de revêtement, des assemblages de deux cellules différant par leur forme des autres cellules, et dont l'ensemble représente un triangle à côtés courbes, convexes vers l'extérieur; une membrane cellulaire sépare la pointe de ce triangle de sa base (pl. 1, fig. 14, *f*). C'est la réunion de ces deux cellules, l'une triangulaire, l'autre obscurément trapézoïdale, qui constitue l'ébauche du stomate.

Les cellules épidermiques, de nature cellulosique, portent une mince cuticule sur leur membrane externe.

Parenchyme. — Un ou deux rangs de cellules en palissade à la face supérieure du cotylédon, et une vingtaine d'assises de cellules globuleuses à la face inférieure, constituent le tissu fondamental du cotylédon étudié. Tous ces éléments possèdent des membranes très minces, cellulosiques, marquées de réseaux de ponctuations très peu profondes; ils laissent entre eux de petits méats. Les cellules du parenchyme inférieur voisines des cellules en palissade s'allongent quelque peu, en sorte qu'il est difficile de fixer exactement le nombre de ces dernières.

Nervation. — Le cotylédon reçoit de l'axe cinq cordons séparés, un médian et quatre latéraux, symétriques deux à deux, par rapport au premier. La nervation est donc palmée. Chacun de ces cordons s'anastomose en arc avec ses voisins et se ramifie un grand nombre de fois. Les ramifications s'anastomosent elles-mêmes entre elles; il en résulte un réseau

compliqué analogue à celui d'une feuille végétative. La terminaison des nervures a lieu à la fois dans les mailles et à la périphérie.

La nervure se compose uniquement d'éléments allongés de tissu procambial.

CONTENU CELLULAIRE. — *Corps protoplasmique.* — Le protoplasma revêt la forme d'un enduit très mince appliqué contre la membrane cellulaire; il est marqué d'impressions circulaires en creux, lieux de contact des grains d'aleurone. Entre les dépressions, le protoplasma, plus épais, forme un réseau à mailles irrégulières. Je n'ai pas vu nettement de noyau cellulaire; cela n'a rien d'étonnant, car lorsque des réserves à l'état solide remplissent, comme ici, étroitement la cellule, ce corps est déformé, comme atrophié, et il devient difficile de le distinguer au milieu des enclaves cellulaires.

Dérivés du protoplasma. — Le cotylédon ne renferme dans ses cellules que de l'aleurone. Cette substance se présente en grains jaunes assez volumineux ($0^{mm},008$), qui paraissent occuper toute la cavité cellulaire. Les cellules étant très étroites, trois ou quatre grains peuvent en tenir toute la largeur, et, à cause de cette circonstance, il ne m'a pas été possible de décider si les grains d'aleurone sont seulement adhérents à l'utricule primordiale, ou si, en outre, il en existe d'épars dans la cavité cellulaire.

La plupart des grains d'aleurone, mais pas tous, contiende très petits globoïdes. Il n'est pas possible de les apercevoir dans le grain normal; mais en traitant des coupes minces par le chloroforme, pour les priver d'huile, puis par la potasse étendue, afin de dissoudre l'aleurone, on voit dans les cellules de nombreuses petites sphères incolores, réfringentes, se dissolvant sans effervescence dans l'acide acétique; ces réactions caractérisent les globoïdes.

Dans l'épiderme et les cellules des nervures, on trouve la même substance de réserve, mais en grains beaucoup plus petits et sans enclaves.

Albumen.

Tissus. — L'albumen se présente, suivant qu'il a été coupé sec et examiné dans l'alcool absolu, ou après avoir été mouillé et observé dans l'eau, sous deux aspects différents qu'il importe de connaître.

Les coupes obtenues à sec offrent l'aspect de lames amorphes, incolores, transparentes, marquées de nombreuses stries parallèles et d'éraillures produites par le rasoir dans cette substance difficile à sectionner. Cette masse est creusée, de distance en distance, de petits trous qui représentent les cavités des cellules. L'écartement entre deux cavités cellulaires équivaut environ à cinq fois la largeur d'une de ces cavités; elles paraissent donc comme disséminées dans la masse cornée. La cavité des cellules est entourée par une coque peu épaisse qui paraît être de même nature que le reste de la paroi, mais plus dense et plus réfringente. On n'aperçoit aucun indice de séparation entre les cellules.

Si l'on fait arriver de l'eau sur les coupes, elles se gonflent et acquièrent une superficie double environ. Il est inutile de dire que toutes les parties que l'on vient de décrire et que l'on va retrouver, ont pris, par suite, des dimensions doubles. Certains détails apparaissent maintenant que l'on n'avait pu voir précédemment. C'est ainsi que l'on aperçoit les limites des cellules, sous forme de traits minces. Ces cellules sont polyédriques, à côtés assez exactement rectilignes. Enfin, autour de la coque signalée ci-dessus, qui se retrouve ici avec les mêmes caractères, la substance de la paroi cesse d'être homogène; il s'y produit des strates parallèles, concentriques à la cavité cellulaire. Elles forment autour de la cavité un anneau qui se relie, par une traînée également stratifiée, aux anneaux des cellules voisines; en sorte que la partie stratifiée de cette membrane se comporte, quant à sa disposition, comme les ponctuations des cellules à parois épaisses.

Ce tissu offre les réactions suivantes. Traitées par le réactif

de Lemaire (1) et par le violet d'aniline, les coupes ne se colorent pas. Avec l'iode en solution aqueuse, elles jaunissent. Avec l'iode et l'acide sulfurique, elles brunissent. Enfin, au moyen d'une solution aqueuse d'hématoxyline alunée, on colore en bleu la coque et la partie stratifiée, le reste n'étant pas influencé. On peut conclure de là que la substance amorphe qui constitue la plus grande partie de la membrane n'est pas exactement de même nature chimique que la coque et les parties stratifiées, et que ni l'un ni l'autre de ces corps ne peuvent être sûrement rangés dans les substances que nous connaissons comme entrant dans la composition des parois cellulaires. Ce n'est en effet, ni de la cellulose, ni du mucilage; elle doit être intermédiaire entre les deux.

CONTENU CELLULAIRE. — Les cavités cellulaires, si petites, renferment seulement une couche pariétale mince de protoplasma et quelques granulations de même nature.

DÉVELOPPEMENT EMBRYONNAIRE.

Cotylédon.

FORME EXTÉRIEURE. — J'ai suivi le développement de ce cotylédon depuis un état assez jeune, où il n'avait qu'un millimètre et demi de longueur environ, et une largeur un peu moindre; l'épaisseur était d'un quart de millimètre. La jeune feuille embryonnaire présentait encore quelque chose de la forme d'un mamelon, sous laquelle elle est née; ses bords étaient arrondis et non tranchants, comme ils le seront plus tard; elle était colorée en vert intense, et offrait une certaine transparence. Peu à peu les oreillettes se forment; le cotylédon s'accroît en longueur et en largeur, deux dimensions qui atteignent bientôt, bien avant la maturité, leur grandeur maximum. L'épaisseur, par contre, reste longtemps à peu près

(1) Dissolution d'hématoxyline dans l'alcool absolu, à laquelle on ajoute un peu de protochlorure d'étain. Ce réactif colore les mucilages.

stationnaire, et ce n'est que vers la fin du développement qu'elle prend tout à coup son état définitif. Le cotylédon cesse bientôt d'être transparent; il demeure assez longtemps vert; un peu avant sa maturité, il se colore en jaune.

TISSUS. — *Épiderme*. — L'épiderme, toujours simple, composé de cellules tabulaires à contours polygonaux, ne cesse de multiplier ses éléments qu'à un âge assez avancé du développement, au moment où l'amidon primaire est en voie de régression et où l'aleurone se montre déjà en abondance. Par contre, les cellules ne s'agrandissent pas; il est même remarquable qu'elles conservent sensiblement, pendant toute cette période du développement, les mêmes dimensions.

D'abord identiques sur toute l'étendue du cotylédon, elles ne tardent pas à se différencier d'une face à l'autre. Celles de l'épiderme supérieur, plus grandes, ont les parois, surtout l'externe, beaucoup moins épaisses. Enfin les deux épidermes diffèrent encore en ce que, dans le supérieur, il se forme des ébauches de stomates. Pour cela, une cellule, d'ailleurs semblable aux autres, découpe à un de ses angles, par une cloison diagonale, une cellule triangulaire qui deviendra la cellule mère du stomate (pl. 1, fig. 13 et 14). Puis les choses en restent là jusqu'à la maturité, et ce n'est que pendant la germination que le stomate s'achève.

A toutes les époques, les membranes sont formées de cellulose. Une mince cuticule recouvre la membrane externe.

Parenchyme. — On doit considérer la forme des cellules, leur dimension, et enfin leur prolifération.

Au début, les cellules, de forme aplatie, sont disposées en assises régulières parallèles aux faces du cotylédon; elles ne laissent pas de méats entre elles; elles ne se distinguent donc que peu des éléments de l'épiderme. Un peu plus tard elles se transforment en polyèdres isodiamétriques, s'agrandissent et deviennent inégales. Par là, ainsi que par la naissance de nouvelles cellules, l'arrangement en assises horizontales se détruit, et le parenchyme devient irrégulier. Puis les deux

rangs supérieurs du parenchyme venant à s'allonger perpendiculairement aux faces du cotylédon, constituent deux rangs de cellules en palissade. Le parenchyme, arrivé de bonne heure à son complet perfectionnement, ne subira plus de différenciation quant à la forme et à la disposition de ses cellules, jusqu'à la maturité de la graine.

En même temps que les transformations précédentes s'opèrent, le parenchyme est encore le siège de deux autres modifications : les cellules s'agrandissent et en même temps se multiplient.

La multiplication des éléments du parenchyme dure depuis le premier état observé jusqu'à une époque rapprochée de la maturité, jusqu'au moment où apparaissent les grains d'aleurone, et où par conséquent le cotylédon commence à se dessécher. La division des cellules a lieu beaucoup plus fréquemment dans le sens de la surface de l'organe que dans le sens de l'épaisseur. Entre les deux épidermes, le nombre des cellules se superposant en ligne droite a été porté approximativement de quinze à vingt, tandis que dans la direction opposée on constate, à la maturité, environ trois cent cinquante cellules d'un bord à l'autre de l'organe, contre cent vingt comptées au stade de début.

Les cellules du parenchyme s'accroissent pendant le temps presque entier du développement. D'abord assez faible et se produisant avec une égale intensité sur toute la surface de la membrane, cet accroissement devient, lorsque les cellules cessent de se diviser, tout à coup considérable, et se fait surtout remarquer perpendiculairement aux faces de la feuille séminale. C'est cette élongation subite qui, vers la fin de la période de formation du cotylédon, produit le notable épaississement signalé plus haut.

Du début à la fin de la germination, les cellules du parenchyme inférieur ont doublé leur diamètre parallèle aux faces de l'organe, et quadruplé le diamètre opposé.

Ainsi trois ordres de modifications ont lieu, au moins pendant quelque temps, simultanément dans le cotylédon, et con-

courent à donner à son parenchyme sa structure. Ce sont, en les rangeant par ordre de durée : la différenciation des cellules, leur multiplication, leur agrandissement. Commençant avec la naissance du cotylédon, ces modifications s'arrêtent à des instants différents qui viennent d'être précisés.

Nervation. — Déjà ébauchée à la première période étudiée, la nervation se complète jusqu'à l'époque où naissent les grains d'aleurone. Le centre du développement, au moins pour les nervures primaires, paraît coïncider avec le centre de figure de l'insertion du cotylédon sur son court pétiole. De ce point, où naît la première nervure, la formation des cordons procambiaux s'étend latéralement vers les bords du cotylédon, en même temps que ceux déjà formés se ramifient et s'allongent vers le sommet de l'organe.

Les nervures consistent toujours en tissu procambial. La nervure médiane s'épaissit par une zone génératrice en fer à cheval, à convexité inférieure.

Contenu cellulaire. — Les cellules présentent d'abord la composition des cellules végétatives ordinaires ; elles possèdent une couche pariétale de protoplasma, avec un noyau souvent aussi pariétal, mais quelquefois encore suspendu, par de fines brides, au centre de la cavité. Peu de temps après, alors que tous les tissus, épiderme, parenchyme, cordons de procambium, prolifèrent avec la plus grande activité, de fins granules d'amidon naissent, agglomérés au nombre de trois à huit, à l'intérieur d'un leucite ; chacun de ces amas formera un grain composé. Les grains partiels s'accroissent sans empêcher le travail de division des cellules. Puis, le cotylédon étant près d'avoir atteint sa structure adulte, les grains d'aleurone apparaissent entre les grains d'amidon, contre la couche protoplasmique pariétale ; ils se forment tout d'une pièce, avec leur largeur définitive, et n'ont plus qu'à s'épaissir pour arriver à l'état adulte. Les tissus du cotylédon acquièrent bientôt leur dernier perfectionnement, et toute l'activité de la cellule paraît se concentrer sur l'évolution des substances de réserve. L'ami-

don disparaît graduellement, pendant qu'inversement les grains d'aleurone, s'accroissant continuellement, parviennent à remplir la cavité cellulaire.

La description précédente s'applique au parenchyme fondamental du cotylédon ; elle ne peut convenir à l'épiderme et au tissu procambial qu'avec les quelques restrictions suivantes. Dans l'épiderme, l'amidon se montre en moindre quantité que dans le parenchyme, et dans les nervures on n'en trouve à aucun moment ; enfin, dans ces deux tissus, les grains d'aleurone restent petits.

La coloration verte que revêt le cotylédon, pendant la plus grande partie de son développement embryonnaire, est due au dépôt de chlorophylle sur le protoplasma cellulaire ; il n'y a pas encore de grains de chlorophylle.

Albumen.

FORME EXTÉRIEURE. — L'albumen enveloppe continuellement l'embryon, comme à l'état de maturité. Son épaisseur maximum était d'abord d'un tiers de millimètre ; elle a triplé pendant le développement.

TISSUS. — Cet organe se montre toujours composé de cellules polyédriques semblables entre elles ; cependant il est recouvert vers l'extérieur par une assise de cellules plus petites qui lui forment une sorte d'épiderme. Le nombre des cellules n'augmente pas pendant le développement embryonnaire ; il est de dix à douze à l'endroit de la plus grande épaisseur de l'albumen. Les parois, formées de cellulose, sont d'abord extrêmement minces ; à partir du moment où l'amidon arrive abondamment dans le cotylédon, les membranes commencent à s'épaissir ; on voit encore la mince paroi cellulosique primitive, mais sur ses faces se dépose une substance hyaline, homogène, présentant les réactions déjà indiquées à l'état de maturité. Le dépôt augmente continuellement d'épaisseur, en conservant ses caractères physiques et chimiques, jusqu'à donner à la cellule la forme qui a été décrite à propos de la graine

mûre. L'épaississement de la membrane est donc dû à un dépôt par juxtaposition, opéré contre la membrane primitive.

Contenu cellulaire. — La cellule de l'albumen ne contient jamais de matériaux de réserve : on n'y trouve que le corps protoplasmique. Il consiste, au début, en une couche pariétale mince de protoplasma et en un noyau suspendu dans la cavité par des brides rayonnantes. Au fur et à mesure que la cavité cellulaire se rapetisse, le noyau devient plus considérable relativement à la cavité; puis, finalement, on ne le retrouve plus; on arrive à l'état de maturité.

GERMINATION.

Cotylédon.

Forme extérieure. — Le cotylédon s'agrandit notablement; il atteint, à la fin de la germination, 15 millimètres de longueur, 12 de largeur et 2 1/2 d'épaisseur. Comme on peut le voir, ses dimensions linéaires, comparées à celles de la graine au repos, sont au moins doublées. Cet accroissement est cependant loin d'atteindre celui de quelques autres cotylédons, tels que ceux du Ricin, du Café, du Lierre, etc. Au point de vue externe, ce cotylédon tient donc le milieu entre ceux qui ne font que se gonfler (Chêne, Marronnier, Néflier du Japon, etc.) et ceux qui s'étalent en larges feuilles.

Après que le cotylédon a résorbé son albumen et que les enveloppes de la graine sont tombées, il est exposé à la lumière et verdit. Cette coloration, qui acquiert beaucoup d'intensité, se conserve jusqu'à la fin de la germination. On verra, dans l'étude histologique de ce cotylédon, à quel état de sa structure interne correspond le verdissement.

Tissus. — *Épiderme*. — Sous le rapport des changements qu'ils subissent pendant la germination, les deux épidermes doivent être décrits séparément.

Dans l'épiderme supérieur, les cellules, en conservant la forme qu'elles avaient à l'état de vie latente de la graine, se sont considérablement agrandies; elles ont doublé leurs dimensions latérales, mais ne se sont pas multipliées. Les stomates, dont les ébauches existent depuis longtemps, s'achèvent pendant la germination, au moment où toutes les substances de réserve de la graine sont épuisées et où apparaissent les grains de chlorophylle. La cellule triangulaire qui s'est découpée autrefois dans la cellule épidermique, et qui est la cellule mère du stomate, s'agrandit notablement et se divise en deux autres cellules. La cloison nouvelle ne paraît pas affecter de disposition spéciale par rapport à celle qui a détaché la cellule mère. Les deux nouvelles cellules filles s'agrandissent, deviennent semi-circulaires, et arrivent à constituer, à la suite des modifications habituelles, les deux cellules de bordure (pl. 1, fig. 15, *a*, *b*).

L'épiderme inférieur ne contient encore, sur la graine mûre, aucune trace de formation de stomates. La membrane externe de ses cellules s'amincit d'abord et devient même plus faible que celle de l'épiderme supérieur. La feuille embryonnaire, en effet, débarrassée de ses enveloppes, s'étale bientôt dans l'air et se trouve dans les mêmes conditions, quant au milieu atmosphérique, que les feuilles ordinaires. Les membranes redevenues minces, les cellules peuvent se diviser; elles ne s'agrandissent que peu pendant la germination, ce qui exige forcément qu'elles se multiplient souvent.

Il se forme aussi des stomates dans l'épiderme inférieur, exactement par le procédé décrit ci-dessus. Les deux stades connus de cette formation, séparation de la cellule mère, puis division en deux de cette cellule, ont lieu ici pendant la germination; ils sont cependant séparés par un certain espace de temps. Les premières divisions se produisent tout au début de la germination, lors de l'apparition de l'amidon secondaire, et les dernières, d'où naissent les cellules de bordure, beaucoup plus tard, lorsque les grains de chlorophylle ont atteint leur complet développement.

Cette graine offre donc le curieux exemple de deux épidermes qui évoluent à peu près de la même façon, mais subissent les transformations qui les conduisent à l'état adulte en des temps différents.

Les membranes se composent toujours de cellulose, une mince cuticule recouvre la membrane externe.

Parenchyme. — Les cellules de ce tissu ne se multiplient pas pendant la germination, leur accroissement produit seul l'extension du cotylédon.

Outre l'agrandissement des cellules, il faut signaler encore quelques autres modifications dans ce parenchyme. On se rappelle qu'à l'état de la vie latente les cellules en palissade, à peine indiquées, ne se distinguaient pas encore nettement de celles du parenchyme sous-jacent. Pendant le développement germinatif, ces éléments s'allongent considérablement, et quelques rangs supérieurs du parenchyme, dont la destination était alors indécise, s'allongent aussi; il se forme ainsi une couche palissadiforme de trois assises cellulaires.

La partie inférieure du parenchyme, où les éléments ont conservé la forme globuleuse, a vu, en même temps que les éléments, s'agrandir aussi les méats; ils ne passent cependant jamais à l'état de lacunes.

L'épaisseur des membranes, quoique peu considérable avant la germination, a encore diminué pendant cette période. Elles se composent toujours de cellulose.

Nervation. — La course des nervures n'a pas varié; leur structure seule s'est modifiée.

Le tissu procambial a d'abord proliféré, et ses éléments se sont agrandis, ce qui donne à la nervure une beaucoup plus grande épaisseur. La nervure médiane, que nous prenons surtout pour exemple, a un diamètre environ six fois plus grand qu'à l'état de repos de la graine; elle s'est en outre différenciée de la façon suivante. A sa partie supérieure, au milieu des cellules procambiales très agrandies, il se forme de dix à quinze vaisseaux ligneux à spires déroulables, entièrement isolés les uns des autres ou réunis par petits groupes, échelon-

nés sur un arc de cercle à convexité inférieure. L'apparition des trachées coïncide avec la naissance des premiers grains d'amidon secondaire. Sur la face opposée de la nervure, on remarque une zone continue de cellules à parois épaisses, d'apparence nacrée. Cette zone, qui compte quatre ou cinq cellules d'épaisseur, constitue du tissu libérien épaissi; entre elle et les vaisseaux ligneux se trouve un assez grand espace rempli par de petites cellules de liber mou. Enfin, à la partie externe ou inférieure des vaisseaux, et immédiatement contre eux, il s'est formé quelques séries radiales de cellules cambiales, ne constituant pas une couche continue.

CONTENU CELLULAIRE. — *Corps protoplasmique.* — Ce corps revêt la forme d'une couche pariétale mince, contenant le noyau dans son épaisseur.

Dérivés du protoplasma. — Au point de vue des corps issus de l'activité du protoplasma se succédant dans le cotylédon pendant la germination, la graine qui nous occupe présente le maximum de complication que l'on puisse rencontrer. Trois sortes de formations figurées, les grains d'aleurone, les grains d'amidon et les grains de chlorophylle, s'y succèdent. On peut, d'après cela, établir cinq phases différentes durant la germination : 1° résorption des grains d'aleurone; 2° naissance de l'amidon secondaire; 3° dissolution de cette substance; 4° formation des grains de chlorophylle; 5° période d'activité de ces grains.

1° La résorption des grains d'aleurone commence peu après la mise en germination, dès que l'eau a pénétré dans la graine et y a produit un léger gonflement : c'est le premier phénomène de la germination que l'on puisse histologiquement observer. Le procédé par lequel ces corps se dissolvent peut être rapproché de celui que plusieurs auteurs ont décrit dans les grains d'amidon, sous le nom de dissolution locale. Des taches sombres apparaissent çà et là dans la masse du grain; à ces taches succèdent bientôt des vides, en sorte que le corps se trouve divisé en fragments anguleux et contournés, enchevê-

trés les uns dans les autres. Le processus que l'on vient de voir se continuant sur les fragments, ils se sectionnent eux-mêmes, et le grain d'aleurone tombe en une poussière fine qui est bientôt dissoute.

2° Lorsque l'aleurone, dont les grains sont tombés en une fine poussière, est près de disparaître, l'amidon secondaire se forme. La production d'amidon commence à se manifester à la face inférieure du cotylédon, celle qui, par conséquent, est appliquée contre l'albumen; de là elle gagne progressivement la face supérieure du parenchyme et les cellules en palissade. Toutefois, dans ces dernières, les grains d'amidon se montrent toujours moins volumineux et moins abondants que dans le tissu à méats de la face inférieure. Cette distribution de l'amidon suivant l'épaisseur du cotylédon paraît être la conséquence de la présence de l'albumen, source de substance ternaire, à la face inférieure de l'organe. On verra plus tard qu'elle a elle-même une certaine influence sur la naissance et la répartition des grains de chlorophylle.

Les grains d'amidon naissent à la face interne de l'utricule primordiale, qui les recouvre de tous côtés. Au début de leur existence, ils se présentent sous la forme de petits granules anguleux rapprochés les uns des autres en agglomérations souvent étendues, et adhérents chacun à un leucite; chacune de ces agglomérations donne ensuite un grain composé.

3° Le maximum d'abondance de l'amidon dans le cotylédon correspond à la fin de la résorption de l'albumen. A partir de ce moment, les grains deviennent de plus en plus petits et disparaissent par dissolution égale.

Dans certaines graines, les grains d'amidon en voie de résorption ont présenté un phénomène assez remarquable; ces grains étaient ramollis à un tel point, qu'ils se déformaient au moindre contact avec un corps étranger. En déterminant des courants dans le liquide contenu sous le couvre-objet, ces grains mous étaient entraînés, et, pour franchir les interstices qui seuls leur offraient passage, s'allongeaient en se rétrécissant. Une fois sortis de la coupe et libres dans le liquide de la

préparation, recevant des pressions égales dans tous les sens, ils s'arrondissaient exactement. Enfin, s'ils venaient à se rapprocher en grand nombre dans ce même liquide, par suite de la pression qu'ils exerçaient les uns sur les autres, ils devenaient polyédriques. Le grain d'amidon était donc devenu complètement diffluent.

4° Lorsque les cellules ne contiennent plus d'amidon, des grains de chlorophylle s'y produisent. Or, il a été dit que l'amidon est toujours moins abondant à la face supérieure qu'à la face inférieure du cotylédon ; d'où il suit qu'il y disparaît plus tôt. Les grains de chlorophylle y naissent aussi plus vite et en plus grande abondance qu'à la face inférieure de la feuille embryonnaire. Ainsi, pendant que les grains de chlorophylle sont non seulement formés dans les cellules en palissade, mais encore contiennent déjà des grains d'amidon issus de leur activité, le parenchyme lacuneux de la face inférieure est encore rempli d'amidon secondaire. On trouve donc à cette époque, dans le cotylédon, des grains d'amidon de deux origines bien différentes : les uns, nés de la réserve de la plante, sont de provenance secondaire; les autres, issus de la faculté assimilatrice des grains de chlorophylle, constituent de l'amidon tertiaire.

La distribution des grains de chlorophylle étant connue, il faut voir comment naissent ces corps. Lorsque l'amidon de seconde formation est résorbé, la substance propre du plastide dans lequel les grains partiels étaient contenus forme, à la surface libre de la couche protoplasmique, une légère saillie. C'est cette saillie qui, en s'épaississant de nouveau, donnera une lentille plan-convexe, qui est le grain de chlorophylle. Ce corps lenticulaire est plus réfringent que les parties du protoplasma restées minces ; il se continue avec elles par ses bords et par sa partie profonde, sans ligne de démarcation bien nette. Il suit de là que le grain de chlorophylle n'est pas libre dans la cavité cellulaire, mais demeure continuellement adhérent à l'utricule protoplasmique.

Le verdissement du cotylédon précède la formation des

grains de chlorophylle. A son arrivée dans cet organe, la matière colorante se dépose sur les corps figurés contenus dans la cellule : protoplasma et grains d'amidon. Au moment de la première apparition des grains de chlorophylle, l'utricule protoplasmique est donc colorée en vert, et elle conserve cette coloration dans toute son étendue. Mais comme entre les grains de chlorophylle elle n'a qu'une épaisseur insignifiante, sa coloration ne paraît pas, et le grain de chlorophylle seul se détache en vert sur un fond d'apparence incolore.

5° Une fois développés, les grains de chlorophylle de ce cotylédon fonctionnent comme ceux des feuilles végétatives. Il s'y forme des grains d'amidon d'abord très petits, au nombre de trois à huit par grain de chlorophylle, isolés les uns des autres, et chacun complètement enveloppé par la substance du grain de chlorophylle. En grandissant, ils se rapprochent les uns des autres, deviennent polyédriques par gêne réciproque dans leur développement, et remplissent complètement le grain de chlorophylle (1). A cette époque, il ne reste plus de celui-ci que des parcelles excessivement minces interposées aux grains partiels d'amidon.

Cette description des corps issus du protoplasma s'applique uniquement au parenchyme cotylédonaire. Dans les épidermes, il se forme également des grains d'amidon, mais moins nombreux que dans le parenchyme ; je n'y ai pas vu nettement de grains de chlorophylle. Enfin, les cellules de bordure des stomates, depuis leur formation jusqu'à la fin de la germination, contiennent toujours des grains d'amidon.

Albumen.

On peut remarquer deux actions dans la dissolution de l'albumen. L'une, faible, est due au protoplasma granuleux renfermé dans la cellule ; l'autre, de beaucoup la plus importante, est exercée par le cotylédon.

Le rôle du protoplasma des cellules de l'albumen, dans la dissolution de ce tissu, est assez obscur, et je fais toutes ré-

(1) Voyez les figures données pour le Chêne, pl. 6, fig. 77-80.

serves au sujet des observations suivantes. Il m'a semblé que le protoplasma contribue faiblement à la dissolution de la paroi cellulaire. Il respecte la coque qui l'entoure immédiatement, mais produit, au delà, des stries radiales irrégulières qui indiquent une perte de substance.

L'embryon, par la face externe de ses cotylédons en contact avec l'albumen, est l'agent principal de la dissolution de ce dernier. Le protoplasma des cellules proches du cotylédon disparaît d'abord, puis l'épaisse membrane cellulaire; il n'en reste que la paroi primitive mince. Ces parois s'appliquent alors les unes contre les autres et forment une lamelle incolore, feuilletée, qui enveloppe l'embryon. Cette lamelle est dissoute à son tour, et le dernier vestige de l'albumen ayant disparu, le cotylédon gonflé est appliqué immédiatement contre les enveloppes de la graine; celles-ci s'entr'ouvrent vers cette époque, et l'embryon, grandissant de plus en plus, s'en échappe. A ce moment, l'amidon atteint, dans les cotylédons, son maximum d'abondance.

TRIGONELLA FŒNUM-GRÆCUM L.

Cotylédons.

L'évolution de l'amande du Fenu-grec, aussi bien avant la maturité que pendant la germination, ne diffère que peu de celle du *Coulteria*. Sauf les petites dimensions de la Trigonelle, l'histoire des tissus est absolument la même dans les deux graines; seulement cette dernière graine m'a paru typique pour l'étude d'un mode spécial de formation des grains d'aleurone, et c'est ce qui m'engage à en parler. L'albumen présente aussi quelques caractères particuliers.

Les grains d'aleurone apparaissent dans le cotylédon du Fenu-grec sous forme de petits bâtonnets courbes, disséminés en apparence sans ordre au milieu des grains d'amidon primaire, alors très abondants (pl. 6, fig. 63). A un âge un peu plus avancé de l'embryon, on voit quelques-uns de ces bâtonnets se réunir pour former des anneaux interrompus (pl. 6,

fig. 64). Au fur et à mesure que les grains d'amidon se résorbent et laissent libre une plus grande partie de la surface protoplasmique, le nombre de ces anneaux augmente. Lorsque tout l'amidon a disparu, l'utricule pariétale de protoplasma est entièrement couverte de ces anneaux, tangents les uns aux autres extérieurement (pl. 6, fig. 65). En même temps les petits bâtonnets, s'allongeant, arrivent à se souder, et les anneaux sont maintenant tout d'une pièce. On voit ensuite ces anneaux s'épaissir progressivement vers leur centre, et de cette manière rétrécir leur ouverture. Celle-ci se ferme entièrement et le grain d'aleurone est achevé. La figure 66, planche 6, représente une cellule contenant, à côté de grains d'aleurone dont le développement est complet, quelques autres grains montrant encore à leur centre un petit vide.

La figure 67 de la même planche réunit toutes les phases de cette formation sur les grains supposés détachés de la cellule.

Comme on peut le remarquer par l'examen des figures, les grains d'aleurone ne conservent pas en mûrissant la forme régulière qu'ils avaient à l'état d'anneaux, et sur la fin de leur développement leur ouverture devient excentrique. Cette modification dans la forme du grain est produite parce que le dépôt de matière protéique n'a pas lieu également sur toute l'étendue de l'anneau, qu'il est particulièrement abondant sur un des côtés. Mais la cause intime du phénomène ne paraît pas pouvoir être recherchée.

Il arrive quelquefois qu'un bâtonnet, ne se réunissant pas à d'autres pour constituer un anneau, reste isolé. Il n'en forme pas moins un grain d'aleurone, par un procédé qui n'est qu'une variante de celui décrit ci-dessus. A sa partie centrale et vers sa concavité, il s'épaissit de façon à prendre la forme d'un croissant à cornes aiguës. Le dépôt continuant, le côté concave devient rectiligne, et le jeune grain d'aleurone présente déjà une figure semi-circulaire ; puis son bord droit devient convexe et le grain d'aleurone finit par être globuleux comme les autres. La série des dessins de la figure 68 donne les différentes phases de ce mode de formation.

Cette graine est intéressante parce que, formant tous ses grains d'aleurone d'après le mode décrit, celui-ci peut facilement y être étudié. De plus, les grains d'aleurone ne présentent pas le même degré de développement dans toute l'épaisseur du cotylédon ; ceux de la face inférieure sont généralement plus avancés que ceux de la face opposée. Cependant il ne faudrait pas croire que le passage fût régulier d'une face à l'autre de l'organe; il arrive souvent au contraire que dans une cellule dont les grains d'aleurone sont presque achevés, on en rencontre qui sont encore à l'état de bâtonnets, et réciproquement.

Albumen.

L'albumen entoure complètement l'embryon; il est transparent, de consistance cornée. Une coupe de l'organe faite à sec et examinée dans l'alcool absolu ne laisse voir qu'une masse hyaline homogène où l'on ne peut distinguer aucun élément histologique. Si l'on fait arriver une goutte d'eau sous le couvre-objet, la coupe se dilate immédiatement, et l'on peut reconnaître la structure du tissu. On y voit l'indication de grandes cellules irrégulières à parois minces, formant un parenchyme homogène (pl. 3, fig. 35). Elles contiennent une substance gélifiée qui les remplit entièrement sans qu'il reste la plus faible trace de la cavité. A l'état sec, cette substance se rapprochait par ses caractères optiques de la mince membrane cellulosique qui limite les cellules, et la coupe paraissait anhiste. L'eau, en gonflant la matière remplissante, la rend moins dense et moins réfringente, et permet de la distinguer de la paroi cellulosique.

L'albumen est recouvert sur sa face externe par une assise de cellules beaucoup plus petites que les précédentes, à peu près cubiques, dont les membranes assez épaisses et cellulosiques opposent une barrière solide au contenu visqueux des cellules internes. Les éléments de l'épiderme ne diffèrent pas seulement de ceux du parenchyme par leur structure, mais encore par leur contenu ; on y trouve de petits grains d'aleurone.

RICINUS COMMUNIS L.

L'étude de la graine de Ricin a été faite déjà par M. Sachs et par A. Gris, dans les mémoires cités plus haut. Il serait inutile de revenir sur la forme extérieure de l'albumen et du cotylédon, mais la structure interne de ces organes est, comme je l'ai dit d'une façon générale au chapitre de l'historique, incomplète pour le point de vue où je me suis placé, et je la reprends en entier.

LA GRAINE MURE.

Cotylédon.

TISSUS. — *Epiderme.* — Un épiderme mince, sans stomates, composé de cellules tabulaires à parois latérales planes, recouvre les deux faces de l'organe.

Parenchyme. — L'épiderme limite un parenchyme peu développé, constitué par cinq ou six assises de cellules à parois minces, incolores, cellulosiques ; l'assise supérieure, à éléments un peu allongés perpendiculairement à la surface du cotylédon, est destinée à donner une couche en palissade ; les cinq autres sont globuleuses et laissent entre elles de nombreux méats.

Nervation. — Disons d'abord que les nervures qui cheminent dans le parenchyme, immédiatement sous les cellules en palissade, se composent uniquement de tissu procambial. Cinq cordons de procambium, un médian et quatre latéraux disposés deux à deux symétriquement par rapport au premier, passent de l'axe de l'embryon dans le cotylédon. Le cordon médian se dirige vers le sommet de la feuille embryonnaire, que par ses ramifications il occupe presque seul ; les deux nervures latérales internes, moins développées que la première, sont destinées à la marge du cotylédon ; enfin les nervures latérales externes, les plus faibles, s'inclinent fortement vers le dehors et se répandent dans les oreillettes. Ces cordons du premier ordre se relient entre eux par de grands arcs situés

non loin des bords du cotylédon. De ces nervures et de leurs anastomoses partent de nombreux rameaux qui eux-mêmes se subdivisent en rameaux de plus en plus petits, anastomosés à leur tour.

La nervation est donc palmée avec anastomoses. Contrairement à ce que j'ai rencontré dans beaucoup de cotylédons, le système des nervures n'est pas complet à la maturité de la graine. Les dernières nervures n'apparaîtront que pendant la germination; les plus fines que l'on puisse maintenant observer ne sont même pas constituées par des faisceaux de cellules procambiales, mais par des cellules isolées beaucoup plus allongées que les cellules du parenchyme, anastomosées entre elles. Les mailles qui en résultent ne contiennent pas encore de terminaisons libres.

Contenu cellulaire. — Le contenu cellulaire du cotylédon ne différant que peu de celui de l'albumen, je remets sa description à l'histoire de ce dernier organe.

Albumen.

Tissus. — L'albumen se compose d'un parenchyme homogène à cellules globuleuses, généralement un peu allongées radialement. Elles présentent entre elles, contrairement aux observations de M. Sachs (1), de nombreux méats ; leur volume dépasse beaucoup celui des cellules cotylédonaires ; les parois, minces, ponctuées, sont formées de cellulose.

Contenu cellulaire. — Le protoplasma se présente, aussi bien dans le cotylédon que dans l'albumen, sous la forme d'une couche mince, hyaline, appliquée exactement contre la paroi cellulaire.

La seule substance de réserve qu'on peut trouver dans ces deux organes consiste, comme on sait, en matière protéique sous forme de grains d'aleurone. Ceux de l'albumen sont très

(1) Sachs, [illegible]

connus pour que j'en donne une description ; je renvoie, pour cela, au mémoire de M. Pfeffer (1) et aux traités d'anatomie végétale. J'ajouterai toutefois qu'entre ces grains pour ainsi dire classiques, et qui forment la partie la plus considérable de la réserve, il en existe d'autres beaucoup plus petits, de volume variable, dont les plus ténus n'ont guère que le sixième du diamètre des premiers. Ces petits grains sans enclaves se rencontrent seuls dans les deux ou trois rangs de cellules qui terminent extérieurement l'albumen.

Les grains d'aleurone du cotylédon présentent moins d'intérêt au point de vue de leur structure que ceux de l'albumen. De forme globuleuse et de tailles diverses, ils offrent un diamètre deux à trois fois plus faible que ces derniers ; ils ne contiennent comme enclaves qu'un très petit globoïde, difficile à voir directement, mais qu'une solution étendue de potasse met facilement à nu ; ce corps manque même dans les plus petits grains. Enfin les grains d'aleurone sont ici épars dans la cavité cellulaire, libres de toute adhérence et non englobés dans une masse solide de protoplasma.

Les épidermes et les cellules des nervures renferment de très petits grains punctiformes, sans enclaves.

GERMINATION.

Cotylédon.

FORME EXTÉRIEURE. — Le cotylédon s'étend beaucoup pendant la germination ; il atteint en longueur et en largeur huit fois environ les dimensions de l'état de repos. Toujours mince, parcouru par des nervures qui font fortement saillie sur sa face inférieure, il se colore en vert dès sa sortie de la graine.

TISSUS. — *Épiderme.* — Les cellules des deux épidermes sont d'abord le siège de nombreuses divisions, puis elles

(1) Pfeffer, *Untersuchungen über die Proteinkörner* (*Jahrbücher für wiss. Botanik*, 1872, VIII, p. 429).

s'agrandissent de manière à tripler tous leurs diamètres. De nombreux stomates prennent naissance sur les deux faces de l'organe, pendant tout le temps que les cellules épidermiques se multiplient; comme cette période est d'assez longue durée, il en résulte que l'on peut trouver de ces formations à tous les degrés de développement; elles se produisent comme il a été dit plus haut pour le *Coulteria tinctoria*.

Au commencement de la germination, quelques cellules épidermiques, également abondantes sur les deux faces du cotylédon, s'agrandissent jusqu'à acquérir un diamètre double des autres, et, se maintenant à l'extérieur au niveau des cellules voisines, font saillie vers l'intérieur dans le parenchyme. Ces cellules ne contiennent pas de formations figurées; on n'y trouve qu'une couche pariétale excessivement mince de protoplasma. Comme les plantules dont je me suis servi avaient séjourné dans l'alcool absolu, je n'ai pu voir si ces cellules étaient des réservoirs d'une substance particulière non figurée; mais je pense que ce sont les cellules à tannin signalées par M. Sachs dans son mémoire sur la germination des graines huileuses, sans indications ni sur leur forme, ni sur leur place. Sur la fin de la germination, on ne distingue plus ces cellules des autres éléments épidermiques.

Parenchyme. — Les cellules de l'assise supérieure s'allongent beaucoup perpendiculairement à la surface, et dessinent nettement la couche palissadique, pendant que les cellules situées au-dessous deviennent rameuses. On observe peu de divisions parallèlement à la surface, car le nombre des cellules qui se superposent directement n'est porté, pendant la germination, que de cinq à sept. Dans le sens perpendiculaire, au contraire, le nombre des cellules est doublé. Les divisions ont lieu aussi bien dans les cellules en palissade que dans les cellules rameuses.

Nervation. — En même temps que les éléments du parenchyme et de l'épiderme se multiplient, la course des nervures se complète par la formation des ramifications ultimes des nervures préexistantes. Puis les faisceaux se différencient; un

îlot de bois à vaisseaux isolés prend naissance sur leur face supérieure, et, à l'opposite, un liber mou à cellules présentant des sections très inégales. Entre ces deux tissus, il existe quelques séries radiales de cellules génératrices ne formant pas une couche continue. Aucun élément de seconde formation ne prend naissance.

L'épiderme qui recouvre la nervure médiane et les nervures latérales principales est renforcé, sur les deux faces du cotylédon, par quelques rangs de cellules collenchymateuses. Cet hypoderme ne rejoint pas le faisceau vasculaire; il en est séparé par les éléments ordinaires du parenchyme fondamental.

Contenu cellulaire. — La réserve aleurique contenue dans le cotylédon se dissout dès le début de la germination; elle est remplacée par des grains d'amidon qui se montrent surtout abondants dans le parenchyme inférieur à méats, dans l'épiderme supérieur, et dans une couche de cellules qui entoure les faisceaux vasculaires; les cellules en palissade et l'épiderme inférieur en contiennent à peine. Cet amidon se dissout à son tour, et alors naissent dans les cellules, par des épaississements locaux de l'utricule primordiale et condensation du protoplasma en ces points, des grains de chlorophylle; par leur faculté assimilatrice, ils fournissent à l'embryon l'aliment hydrocarboné que ses réserves épuisées ne peuvent plus lui apporter. L'évolution de ces différents corps ayant lieu essentiellement comme il a été dit pour ceux du *Coulteria tinctoria*, il est inutile de s'y arrêter davantage.

Albumen.

Forme extérieure. — A l'état de vie latente de la graine, l'albumen enveloppe complètement l'embryon. Pendant la germination, l'albumen suit tout d'abord l'extension des cotylédons en les enveloppant encore. Les cotylédons s'accroissant de plus en plus et s'écartant l'un de l'autre, l'albumen se trouve divisé en deux parts égales suivant le plan de contact des cotylédons. Chacune des moitiés reste adhérente à la face

inférieure du cotylédon correspondant. Tandis que la longueur et la largeur de l'albumen vont un certain temps en croissant, son épaisseur diminue sans cesse, et bientôt il disparaît. Ce moment coïncide avec la présence dans le cotylédon de la quantité maximum d'amidon. L'albumen demeure blanc pendant toute la durée de son existence.

STRUCTURE INTERNE. — L'extension qu'éprouve l'albumen n'est pas due à la multiplication de ses cellules, mais à leur accroissement et à leur déformation. A l'état de repos de la graine, les cellules oblongues de l'albumen étaient dirigées radialement; elles s'aplatissent peu à peu, et leur grande dimension devient tangentielle. C'est ce qui explique à la fois l'extension et l'aplatissement qu'éprouve l'organe, dans les premiers temps de la germination. A la face interne de l'albumen, les membranes cellulaires s'amincissent d'abord et s'appliquent les unes contre les autres en formant une couche feutrée; puis elles sont résorbées. La dissolution des membranes ne se produisant qu'au contact du cotylédon, elle est due à l'action d'un liquide digestif sécrété par celui-ci.

La régression des grains d'aleurone commence, comme MM. Gris et Pfeffer l'ont déjà établi, par la mise en liberté des enclaves. Plus tard les enclaves et la masse fondamentale disparaissent par dissolution locale. L'altération a lieu simultanément dans toute l'étendue de l'organe, ce qui prouve qu'elle est due à l'activité du protoplasma, et non à l'influence de l'embryon. Les grains d'aleurone résorbés, il ne se forme ni grains d'amidon, ni grains de chlorophylle.

L'albumen du Ricin est donc vivant pendant la germination, comme l'ont établi déjà les expériences bien connues de M. Van Tieghem, puisqu'il digère lui-même ses réserves, et que ses cellules s'accroissent et se déforment.

SCHOTIA LATIFOLIA Jacq.

Parmi les graines dont les membranes cotylédonaires sont doublées d'un abondant dépôt de granulose, j'ai choisi celle du

Schotia latifolia, dont j'étudierai le développement avant l'état de vie latente et pendant la germination. La plante est cultivée au jardin du Hamma, à Alger; c'est de là que j'ai tiré les graines en voie de formation.

LA GRAINE MURE.

FORME EXTÉRIEURE. — L'embryon exalbuminé du *Schotia latifolia*, provenant d'un ovule campylotrope, se compose de deux cotylédons égaux qui, par suite de la courbure embryonnaire, présentent l'insertion de la radicule non pas à leur petite extrémité, mais sur le côté. La longueur du cotylédon est de 15 à 18 millimètres, sa largeur de 12 millimètres, et son épaisseur de 2 millimètres et demi. De couleur jaune clair, il offre une consistance cornée très dure.

TISSUS. — *Épiderme.* — Un seul rang de cellules tabulaires à contours polygonaux, dont la hauteur égale la largeur, constitue l'épiderme de cet embryon. Les parois sont minces, cellulosiques et recouvertes d'une mince couche de cutine. Ainsi qu'on le rencontre souvent, l'épiderme inférieur a les membranes plus épaisses que son homologue; cet épiderme présente encore cette particularité qu'à l'intersection de ses parois latérales se trouvent de petits méats aérifères à section triangulaire. De nombreux indices de récentes divisions, consistant en ce que certaines parois n'ont pas encore atteint l'épaisseur des autres, se remarquent dans les deux épidermes. Il n'y a pas encore de stomates.

Parenchyme. — Le tissu fondamental est constitué par des cellules polyédriques irrégulières, à faibles méats, formant un parenchyme homogène non différencié en couches distinctes. Le mode spécial d'épaississement des parois doit nous arrêter un instant. La membrane comprend trois couches : une moyenne, mince et ininterrompue, représente la membrane primitive, et deux couches latérales, épaisses, dues à un dépôt opéré pendant la formation de l'embryon. Ces deux dernières

sont percées de ponctuations arrondies, fermées comme d'un diaphragme par la paroi primitive (pl. 2, fig. 17). Sur la face interne de ces épaississements, on remarque un faible liséré, beaucoup plus réfringent que le reste de la membrane, dont on verra plus tard la nature. A la face supérieure du parenchyme, les cellules conservent cette structure jusqu'au contact de l'épiderme; au contraire, à la face inférieure, à partir du troisième ou du quatrième rang, l'épaississement devient de plus en plus faible, et contre l'épiderme il est insignifiant. La structure de ce parenchyme est donc identique à celle des albumens cornés.

La composition chimique de ces membranes avait été reconnue déjà par Schleiden. La lamelle moyenne a tous les caractères de la cellulose. Les lames latérales épaississantes sont formées de granulose; elles se colorent en effet en bleu par les solutions iodées seules; et quand on les met digérer, à une température convenable, dans une solution de sel marin additionnée d'acide chlorhydrique, elles se dissolvent sans laisser de résidu. Le liséré plus réfringent qui borde la membrane sur sa face interne offre les mêmes réactions; c'est donc de la granulose plus condensée et plus réfringente que celle qui forme la masse principale de la membrane.

Avec les réactifs iodés, la substance amylacée ainsi déposée sur la membrane primitive de la cellule ne se comporte pas tout à fait comme l'amidon ordinaire. Tandis que le plus souvent les grains d'amidon peuvent se colorer en bleu au contact de solutions d'iode même très étendues, les membranes cotylédonaires de la graine en question exigent des dissolutions très concentrées; et, ce qui n'arrive pas pour les grains d'amidon, les coupes colorées portées dans l'eau se décolorent instantanément.

Nervation. — Les nervures, entièrement développées quant à leur course, ne contiennent que du tissu procambial.

La nervation se compose de sept cordons principaux émanant de la radicule très près l'un de l'autre, mais cependant séparément (pl. 4, fig. 50). Le faisceau médian, le plus

développé, parvient jusqu'au sommet de l'organe; à cause de l'asymétrie du cotylédon, il n'en occupe pas la partie moyenne et n'est médian que par rapport au mode de distribution des autres faisceaux. Les faisceaux latéraux, plus rapprochés l'un de l'autre et moins développés dans la plus petite moitié du cotylédon que dans l'autre, se répandent dans les bords de l'organe et dans les oreillettes. Tous ces faisceaux s'anastomosent en arcades les uns avec les autres, émettent sous des angles très obtus de nombreux rameaux eux-mêmes anastomosés, et forment un système de nervation palmé et anastomosé, avec terminaisons libres dans l'intérieur des mailles et à la périphérie.

Les faisceaux principaux sont placés sur une surface courbe occupant sensiblement le milieu de l'épaisseur du cotylédon, mais leurs ramifications ne peuvent être rapportées à aucune surface. Les cordons qui relient transversalement les nervures principales forment des arcs à convexité supérieure (pl. 4, fig. 49), et de ces arcs, ainsi que des cordons principaux, s'élèvent les plus petites nervures, qui se distribuent dans la moitié supérieure du parenchyme cotylédonaire.

Contenu cellulaire. — Le contenu des cellules consiste en une utricule pariétale de protoplasma, dans laquelle sont enchâssés des grains d'aleurone petits, globuleux, sans enclaves. Ainsi, dans ce cotylédon, les grains d'aleurone ne sont pas épars et libres dans la cavité cellulaire, mais formés, comme tous les corpuscules cellulaires, dans le protoplasma pariétal; ils n'ont pas suffisamment grandi pour se gêner les uns les autres, comme ceux de l'Arachide, et il n'a pas été nécessaire que quelques-uns d'entre eux se détachassent de l'utricule pour permettre aux autres de s'accroître davantage; ils ont pu, par conséquent, demeurer à la place où ils étaient nés. On peut se convaincre de cette diposition par l'examen attentif d'une des cellules du cotylédon. On voit les grains d'aleurone, non pas épars dans la cavité cellulaire, entassés irrégulièrement les uns sur les autres en laissant entre eux

des vides, comme il arrive, par exemple, dans l'Arachide et dans le Ricin, mais disposés régulièrement les uns à côté des autres comme des pavés, et entre eux on aperçoit une mince bandelette de protoplasma qui les relie comme un ciment. En faisant varier la mise au point, on remarque qu'il n'existe qu'une seule assise de ces grains, suivant toutes les ondulations de l'utricule primordiale. Ces observations suffisent, je crois, à démontrer la position pariétale des grains d'aleurone.

Si l'on fait macérer quelque temps dans un liquide aqueux des coupes microscopiques du cotylédon de *Schotia*, les grains d'aleurone se dissolvent, et l'on aperçoit, appliqué contre la membrane cellulaire, un réseau très fin, dont les bandelettes sont de nature protéique et dont les mailles ont la même grandeur que les grains d'aleurone.

De l'huile, en très petite quantité, se trouve aussi dans ces cellules.

DÉVELOPPEMENT EMBRYONNAIRE.

Après ce qui a été dit de la formation de l'embryon du *Coulteria tinctoria*, il est inutile de répéter en détail ce qui se passe chez celui du *Schotia*, qui présente le même type de développement; je ne m'occuperai que des points spéciaux à ce cotylédon.

TISSUS. — Le caractère particulier des tissus est ici l'épaississement des membranes, et c'est principalement à ce point de vue que j'étudierai le développement de ce cotylédon.

La granulose, qui forme, comme on l'a vu, la masse principale de la paroi cellulaire, se dépose progressivement sur une paroi cellulosique mince. Ainsi, au commencement de son existence, le cotylédon se compose, comme c'est le cas général, de cellules à parois minces, cellulosiques. A un moment qui sera plus tard déterminé, on aperçoit, de chaque côté de cette membrane primitive, une couche de renforcement d'abord rès faible, qui en double à peine l'épaisseur, et qui se colore

en bleu au contact des solutions iodées concentrées. C'est la première apparition de la couche d'épaississement. Le dépôt augmente graduellement, et, quand il a atteint sa puissance définitive, sa face interne se condense et devient plus réfringente que le reste.

Pendant sa formation, ce dépôt de granulose m'a paru répondre aux mêmes réactions chimiques que dans la graine mûre; il n'en est pas de même de ses propriétés physiques et spécialement de son état d'agrégation. Ainsi, tandis que dans la graine mûre l'eau paraît sans influence sur lui, elle le dissout au contraire pendant qu'il se dépose. Les coupes du cotylédon jeune deviennent poisseuses quand on les mouille; et si on les porte sous le microscope après les avoir traitées par la solution iodurée d'iode, on voit que tout le liquide qui imprègne la préparation est coloré en bleu, mais sans qu'il y ait de précipité. En soulevant le couvre-objet, on aperçoit des courants de cette solution bleue se produire en tous sens. L'eau a donc dissous de la granulose, et la solution, plus dense que le liquide ambiant, s'y mêle difficilement et forme les courants dont il est question.

Il reste à indiquer à quel moment apparaît la granulose, par rapport au contenu de la cellule et au degré de perfectionnement du squelette cellulaire du cotylédon.

On verra bientôt que la graine du *Schotia* est l'une de celles qui contiennent, au commencement du développement, de l'amidon transitoire. Comme il était raisonnable de le supposer, les deux produits amylacés, grains d'amidon et granulose, se montrent en même temps dans les cellules; ils augmentent d'abord parallèlement; puis plus tard, pendant que les grains d'amidon se résorbent, le dépôt de granulose continue de s'épaissir et de se condenser.

On pouvait encore prévoir que des cellules dont les parois sont ainsi épaissies deviennent incapables de se diviser. L'observation confirme cette prévision. Les tissus ont donc atteint tout leur développement, la graine est arrivée à ses dimensions définitives, lorsque apparaît dans les cellules la matière amy-

lacée. Ce seul fait que les parois cellulaires atteignent ici une épaisseur inaccoutumée entraîne donc pour le *Schotia* une exception aux lois de développement qui paraissent se dégager de l'étude des autres graines. Partout, en effet, où de l'amidon transitoire se forme dans les cotylédons, cette substance apparaît bien avant que le cotylédon soit arrivé au terme de son développement tissulaire, et augmente dans les cellules en même temps que celles-ci se multiplient pour édifier le cotylédon. Ici l'amidon n'envahit le cotylédon que lorsque celui-ci est entièrement formé.

CONTENU CELLULAIRE. — *Corps protoplasmique.* — J'ai été assez heureux pour rencontrer des embryons de *Schotia* très jeunes, et j'ai pu suivre, par conséquent, toute l'évolution du corps protoplasmique.

Dans les plus jeunes graines examinées, un protoplasma granuleux, massif, remplissait la cellule. Au milieu se trouvait un noyau brillant, hyalin et très réfringent, contenant de un à trois nucléoles. La coloration verte du cotylédon, plus intense vers sa face inférieure que vers sa face supérieure, est due à de la chlorophylle répartie uniformément sur toutes les granulations protoplasmiques. Chez des embryons plus âgés, des vacuoles s'étaient formées, en sorte que le corps protoplasmique consistait en une couche pariétale encore épaisse, reliée au noyau par des filaments rayonnants. Plus tard les vacuoles s'agrandissant, les filaments deviennent plus minces, finissent par se rompre, et la cellule ne contient plus qu'un mince enduit de protoplasma logeant le noyau en un de ses points.

Enfin, au moment de l'apparition des grains d'aleurone, il se produit dans le protoplasma un réseau délicat dont j'ai déjà parlé.

J'ai pu rarement suivre aussi complètement le développement du corps protoplasmique. Presque toujours, dans les plus jeunes graines que je possédais, des vacuoles existaient déjà. Mais comme à partir de ce moment j'ai vu le protoplasma

de toutes les graines passer par les mêmes phases, il est permis d'admettre que les états antérieurs ont été identiques à ceux du *Schotia*. D'ailleurs, dans tous les organes, les cellules qui arrivent à l'état durable présentent de même, successivement, un protoplasma massif, un protoplasma aréolé, puis un enduit pariétal de cette substance.

Dérivés du protoplasma. — Il se produit dans ce cotylédon de l'amidon, qui n'est que transitoire, puis des grains d'aleurone.

Le moment de la naissance des grains d'amidon a déjà été indiqué; j'ajouterai que ces grains, peu nombreux, restent toujours petits. Le principal rôle, au point de vue des réserves amylacées, paraît être dévolu, en effet, à la granulose déposée sur les parois cellulaires. Ayant assisté, sur des embryons très jeunes, à la naissance même des grains d'amidon, j'ai vu leurs leucites formateurs. Ils ont la forme de petits bâtonnets courbes; le grain d'amidon naît dans leur concavité.

La naissance des grains d'aleurone offre ici quelques particularités intéressantes. Bien avant l'apparition des premiers rudiments de ces grains, on remarque, s'étendant à toute la surface de l'utricule protoplasmique, un réseau à mailles petites, polygonales et égales entre elles. La présence des grains d'amidon, comme on l'a vu, très petits et rares, ne gêne pas l'établissement de ce réseau. Les bandelettes qui le forment, extrêmement déliées, sont de nature protéique. Le moyen qui m'a le mieux réussi pour mettre en évidence ce réseau très délicat, consiste à traiter les coupes d'abord par la teinture d'iode, qui durcit le protoplasma et le colore en jaune, puis par le liquide de Grönland. Ce procédé peut servir avant la naissance des grains d'aleurone et lorsqu'ils sont déjà formés; dans ce dernier cas, le liquide de Grönland dissout les grains d'aleurone, très altérables (1), et permet d'apercevoir le réseau.

(1) Après cinq jours de macération dans une solution de sublimé avec l'alcool absolu, les grains d'aleurone du *Schotia* se dissolvent encore dans l'eau et

Peu de temps après que le réseau ci-dessus mentionné a apparu dans les cellules, les grains d'aleurone commencent à s'y montrer; ils naissent sous forme de bâtonnets courbes, minces et de longueur variable, composés d'une substance albuminoïde très dense et très réfringente. Peu à peu quelques-uns de ces bâtonnets, par leur croissance ou par leur réunion à d'autres bâtonnets convenablement placés, représentent une circonférence complète; cependant on en trouve beaucoup qui restent à l'état d'arcs. Je me suis assuré que ces bâtonnets sont toujours adjacents aux bandes du réseau qui vient d'être décrit. Lorsqu'ils occupent une circonférence entière, l'anneau qu'ils forment occupe la périphérie d'une des mailles du réseau (pl. 6, fig. 74). Il y a donc une relation entre la présence du réseau protoplasmique et la production des grains d'aleurone; chaque grain d'aleurone naît dans une des mailles de ce réseau, et, comme on va le voir, l'occupe plus tard tout entière. Il semble donc que l'utricule primordiale se divise en nombreux polygones dont chacun est chargé de former un grain d'aleurone.

Les bâtonnets ou les anneaux ci-dessus, placés comme il vient d'être dit, s'épaississent de plus en plus; les bâtonnets, en passant par l'état de croissants, et les anneaux en s'épaississant vers le centre, arrivent à former des grains d'aleurone pleins.

Quelques grains d'aleurone naissent sans être précédés de bâtonnets. A cet effet, le protoplasma correspondant à une maille du réseau sécrète une masse compacte ayant la même étendue, par conséquent, qu'un grain d'aleurone, mais peu épaisse. Cette sorte de petit disque s'épaissit, et il en résulte un grain d'aleurone semblable aux autres.

Vers le moment de la maturité de la graine, les grains d'amidon du cotylédon se résorbent, et il ne reste plus, comme réserve figurée, que les grains d'aleurone.

dans le liquide de Grönland; ils ne forment donc pas de composé insoluble avec le sel mercurique.

GERMINATION.

FORME EXTÉRIEURE. — Le cotylédon s'agrandit un peu pendant la germination et verdit. Vers la fin de cette période, il s'enroule faiblement sur lui-même, la face supérieure devenant fortement concave.

TISSUS. — Par l'effet de l'enroulement du cotylédon, sa face inférieure prend un développement beaucoup plus grand que sa face supérieure ; cependant aucune division cellulaire n'a lieu dans les épidermes, et leur extension est produite uniquement par l'agrandissement des cellules. Quelques stomates, très rares, se forment sur les deux épidermes. Les cellules de bordure paraissent naître par la division d'une cellule épidermique quelconque, sans que, comme il arrive souvent, des divisions préparatoires aient lieu.

Le parenchyme ne forme pas de nouvelles cellules, ni ne change la disposition de celles qui existaient précédemment ; il ne présente à étudier que la résorption de la granulose. Cette résorption commence lorsque apparaissent les grains d'amidon de seconde formation, par conséquent à une époque déjà avancée de la germination. Sur le bord libre de la membrane cellulaire, on voit apparaître des stries radiales qui sont les premiers indices de l'altération. En colorant les coupes par l'iode, ont remarque en effet que ces stries sont produites par une dissolution locale de la paroi. Peu à peu, le processus continuant, tout le dépôt de granulose disparaît, et le parenchyme se trouve de nouveau composé de cellules à parois minces et réticulées. La résorption de la granulose commence sur les faces du cotylédon bien plus tôt qu'au centre, et l'on trouve sur le bord des coupes les cellules à parois tout à fait minces, pendant que dans les parties centrales elles paraissent encore inattaquées.

Les nervures forment quelques trachées à leur face supérieure.

Contenu cellulaire. — Le premier phénomène qui se manifeste pendant la germination de cette graine est, comme toujours, l'altération des grains d'aleurone. A l'état de repos de l'embryon, toute différence entre le bâtonnet ou l'anneau initial du grain et la substance déposée ensuite était effacée, et le grain d'aleurone paraissait homogène. Un des premiers effets de la germination est de faire réapparaître les différentes parties dont s'est formé le grain d'aleurone ; puis sa substance fondamentale se dissout peu à peu, respectant les bâtonnets ou les anneaux. C'est ainsi que l'on voit les grains repasser, en suivant l'ordre inverse, par tous les états décrits lors de leur formation; bientôt on ne voit plus dans la cellule que des bâtonnets et des anneaux (pl. 6, fig. 70). Puis les anneaux venant à se rompre, se convertissent en bâtonnets; ceux-ci se brisent de plus en plus et finissent par disparaître totalement. La cellule ne contient plus trace des grains d'aleurone.

A ce moment, le réseau que nous avons vu se former dans l'utricule primordiale pendant le développement du cotylédon, que nous avons retrouvé à l'état de vie latente de la graine, réapparaît avec beaucoup de netteté; ses bandelettes sont beaucoup plus solides que précédemment, et des préparations en peuvent être conservées pendant longtemps. Mais sur des graines dont la germination est un peu plus avancée, le réseau disparaît et l'utricule pariétale redevient une couche homogène de protoplasma.

Après que les grains d'aleurone ont été résorbés, alors que le réseau protoplasmique a cessé d'exister, d'autres formations prennent naissance dans les cellules du cotylédon. Il s'élève de l'utricule pariétale vers la cavité cellulaire des éminences arrondies à leur sommet, quelquefois simples (pl. 6, fig. 75, *a*, *b*, *c*, *d*), d'autres fois portant de courtes ramifications, elles-mêmes arrondies, qui les rendent tuberculeuses. L'enduit protoplasmique est entièrement couvert de ces corps, qui se colorent en jaune brun par l'iode, en rouge carmin par l'éosine, et révèlent, par ces réactions, leur nature azotée.

Entre eux et le protoplasma de la cellule, on ne voit pas de limite de séparation. Ces formations doivent être considérées comme des leucoleucites formateurs d'amidon. Il naît bientôt à leur intérieur de très fins granules amylacés, au début éloignés l'un de l'autre; en grossissant, ils se rapprochent; la substance du leucite qui se trouvait entre eux disparaît inversement, et bientôt le leucite étant entièrement comblé par les grains d'amidon, on ne retrouve plus trace de sa matière constituante. Les grains d'amidon d'un leucite se soudent de manière à former un grain composé.

J'ai déjà dit que la naissance des premiers grains d'amidon correspond au début de l'altération du dépôt de granulose et à la différenciation, dans le cordon procambial, des premières trachées. Les grains d'amidon se forment d'abord dans les leucites autour des faisceaux vasculaires, puis de là se répandent dans tout le cotylédon.

Lors de la naissance des leucites et même pendant les premiers temps de leur fonctionnement, le cotylédon, étant incolore, n'assimile pas, et les grains d'amidon qui apparaissent ne peuvent être qu'un produit de la transformation des matières hydrocarbonées contenues dans la graine, évidemment de la granulose. Peu après, avant que l'amidon qui se forme à leur intérieur ait atteint son abondance maximum, les leucites se colorent en vert, comme le cotylédon lui-même. Ils n'assimilent cependant pas.

Le cotylédon entre bientôt dans la période de régression; la granulose appliquée aux parois achève de se dissoudre, et l'amidon est plus ou moins complètement résorbé. Dans un de ses organes examiné au moment où il se flétrissait et était près de se détacher de la tige, les membranes cellulaires étaient revenues à leur minceur primitive; les grains d'amidon composés, plus rares, avaient subi une diminution notable de volume et restaient toujours englobés dans un mince revêtement de protoplasma, reste du leucite; une utricule protoplasmique mince, colorée en vert, tapissait la paroi cellulaire.

Il ne se forme pas de grains de chlorophylle.

RÉSULTATS GÉNÉRAUX.

Au moyen des observations décrites précédemment et de beaucoup d'autres, qu'il est inutile de reproduire pour éviter les redites, j'ai pu dresser le tableau suivant de l'histoire du cotylédon et de l'albumen en général.

Dans cet exposé, je suivrai la marche adoptée précédemment pour la description des espèces. J'étudierai les réservoirs nutritifs de la graine à l'état de vie latente, puis pendant leur formation, et enfin pendant la période germinative. Ces trois chapitres seront naturellement divisés chacun en deux sections : histoire des tissus, histoire du contenu des cellules. Après l'examen de chacune des parties qui constituent le cotylédon, on fera ressortir les relations avec les parties précédemment décrites; il en résultera finalement un résumé général de l'histoire de cet organe.

LA GRAINE MURE.

Cotylédons.

TISSUS. — *Epiderme.* — Un épiderme toujours simple et bien différencié recouvre les cotylédons. La forme des différentes cellules épidermiques varie peu à l'état de vie latente. D'habitude aussi longues que larges, elles s'étendent dans le sens de l'axe longitudinal du cotylédon chez les *Sapindus cinereus*, *Armeniaca sativa*, *Prunus Cerasus*, etc. Le plus souvent aplaties en tables, elles peuvent devenir cubiques (*Schotia latifolia*) ou même s'allonger en prismes perpendiculairement à la surface, comme à la face interne du scutelle du Maïs et de plusieurs autres Graminées, ainsi que dans la Châtaigne. Généralement les cellules épidermiques sont disposéess ans ordre à la surface du cotylédon ; chez le *Linum usitatissimum*, elles se rangent en séries longitudinales. Les parois latérales sont presque toujours planes; cependant, parfois, elles deviennent

légèrement ondulées (*Acer platanoides*, *Pistacia vera*, épiderme supérieur du *Phaseolus vulgaris*).

Les deux faces du cotylédon peuvent être recouvertes de cellules épidermiques de dimensions égales, et c'est le cas le plus général; mais il arrive aussi que l'un des épidermes est formé de cellules plus grandes que l'autre : c'est ordinairement l'épiderme supérieur (*Schotia latifolia*, *Castanea vulgaris*, *Armeniaca sativa*, *Physostigma venenosum*, *Phaseolus vulgaris*, *Mucuna urens*, *Dolichos pruriens*, *Erythrina Crista-galli*, *Hedysarum sibiricum*, *Prunus Cerasus*). Enfin il n'est pas rare de rencontrer des cotylédons dont l'épiderme supérieur est formé de cellules fortement allongées dans le sens de l'axe, pendant que l'épiderme inférieur se compose d'éléments isodiamétriques (*Phaseolus vulgaris*).

L'épiderme inférieur des cotylédons de *Schotia latifolia* et de *Mucuna urens* fait exception parmi les autres épidermes cotylédonaires et les épidermes en général, en ce que, à l'intersection de ses faces latérales, se trouvent de petits méats aérifères à section triangulaire. Il est généralement admis que les éléments des épidermes sont exactement unis par leurs faces latérales.

Les membranes épidermiques sont presque toujours minces, la paroi externe présentant un peu plus de solidité que les parois latérales. Je n'ai trouvé, pour s'écarter de cette règle, que le cotylédon du *Schotia latifolia*, où l'épiderme inférieur présente des parois moyennement épaissies, et celui de l'*Æsculus Hippocastanum*, dont les membranes épidermiques sont non seulement très épaisses et présentent même par là, pour l'embryon, une réserve cellulosique, mais encore émettent, de leurs parois latérales, des arcs-boutants très solides, formés de cellulose (pl. 1, fig. 1). La présence de ces contreforts se montre à un degré très faible dans l'épiderme cotylédonaire de l'*Acer platanoides*, où ils revêtent, seulement de face, la forme de pointes courtes (pl. 2, fig. 34).

Quel que soit le degré d'épaississement des cellules, l'épiderme inférieur, contrairement à ce qui a lieu chez les feuilles

ordinaires, est toujours plus épaissi que l'épiderme supérieur. Il est possible que cette particularité tienne à ce que dans la graine mûre, les cotylédons, étant appliqués l'un contre l'autre par leur face supérieure, ne sont exposés aux actions extérieures que par leur face inférieure, qui est ici externe; de là la nécessité d'une certaine solidité.

Enfin les membranes épidermiques se montrent constamment formées de cellulose et recouvertes, vers l'extérieur, par une lamelle de cutine assez mince, qui ne présente rien de la structure compliquée de certaines cuticules. C'est la seule transformation chimique que présente la cellulose des membranes épidermiques.

Il n'est pas rare de rencontrer des stomates sur les cotylédons à l'état de vie latente. Ces organes se présentent, tantôt ayant acquis tout leur développement, pourvus de deux cellules de bordure réniformes ayant entre elles une boutonnière; d'autres fois le stomate, ayant été surpris dans son développement par la maturation de la graine, sous l'influence de laquelle tout perfectionnement dans les tissus est arrêté, n'est pas complètement achevé, et il serait impossible, si l'on ne connaissait les stades ultérieurs du développement, de reconnaître des stomates dans les formations qu'on a sous les yeux. Ce cas se présente chez le Lin, le Fenu-grec, le *Coulteria*, l'*Hedysarum sibiricum*.

Les ébauches de stomates du cotylédon du Lin (pl. 1, fig. 12) se présentent sous la forme, tantôt de trois, tantôt de quatre petits rectangles de même hauteur disposés en ligne droite. Quand il y a quatre rectangles, les deux internes donneront les cellules de bordure; quand il y en a trois, le médian se divisera par une cloison, et l'on retombera dans le cas précédent.

Chez les autres plantes citées ci-dessus comme possédant des rudiments de stomates à l'état de maturité, on trouve deux cellules dont l'ensemble représente un triangle à côtés courbes (p. 1, fig. 8). L'une, située à la base du triangle total, est trapézoïdale; l'autre, qui en occupe un sommet, est par consé-

quent triangulaire, et c'est cette dernière qui donnera naissance, pendant la germination, aux cellules de bordure.

Dans les cas où j'ai observé, à l'état de maturité de la graine, des ébauches de stomates, c'était toujours sur les deux faces du cotylédon. Il n'en est pas de même lorsque ces organes ont atteint leur dernier achèvement. On les trouve sur les deux faces dans le *Gleditschia triacanthos*, sur la face supérieure seulement chez le *Dipteryx odorata;* enfin uniquement à la face inférieure chez les *Dolichos pruriens*, *Erythrina Crista-galli*, etc.

L'épiderme ne forme jusqu'à la maturité ni glandes, ni poils. Si ces derniers organes ont été rencontrés sur quelques embryons (1), cela a toujours été sur l'axe de la jeune plante, et non sur ses cotylédons.

On voit donc qu'en thèse générale l'épiderme des cotylédons à l'état de repos présente peu de différences chez les différentes espèces, et qu'il offre moins de différenciation et de perfectionnement que l'on a l'habitude d'en rencontrer chez les autres organes. En outre, la seule formation dérivée de ce tissu étant ici les stomates, on peut voir par la distribution de ces organes, qui se rencontrent à peu près indifféremment sur une face ou sur l'autre, que les deux épidermes du cotylédon diffèrent moins que ceux des feuilles ordinaires.

Parenchyme. — L'espace compris entre les deux épidermes est occupé par une couche de parenchyme dont l'épaisseur varie beaucoup; très mince, lamelliforme chez les cotylédons foliacés, tels que ceux du Ricin, elle peut atteindre plus d'un centimètre d'épaisseur, comme chez l'*Æsculus Hippocastanum* et le *Simaba Cedron*. Le nombre des cellules qui composent cette couche est naturellement en rapport avec son épaisseur. Je n'ai jamais trouvé moins de quatre cellules parenchymateuses superposées directement entre les épidermes (*Sterculia platanifolia*); les cotylédons foliacés en présentent de six à quinze; dans les cotylédons volumineux cités ci-dessus, le nombre de

(1) De Candolle, *Sur quelques cas d'embryons velus* (*Bull. de la Soc. bot. de France*, 1875, t. XXII, p. 229).

ces cellules s'élève quelquefois à plusieurs centaines (*Æsculus*, 140 ; *Simaba*, 240, approximativement).

La conformation du parenchyme cotylédonaire diffère suivant les plantes. Souvent la forme des cellules ne varie pas dans toute l'épaisseur de l'organe, et le parenchyme est homogène ; les éléments présentent une forme globuleuse ou polyédrique, et entre eux il existe toujours des méats aérifères (*Simaba Cedron*, *Æsculus Hippocastanum*, *Erythrina Crista-galli*, *Jambosa vulgaris*, *Camphora officinurum*, *Caryophyllus aromaticus*, *Laurus nobilis*, *Eugenia axillaris*, *Dipteryx odorata*, *Physostigma venenosum*, *Zea Mays*, *Anacardium occidentale*, *Phaseolus vulgaris*, *Schotia latifolia*, *Zizygium jambolanum*, etc).

Le parenchyme peut être hétérogène, et cela arrive de deux façons. Dans la plupart des cotylédons minces, une ou plusieurs assises de cellules s'allongent perpendiculairement à la surface, se disposent en séries régulières radiales et tangentielles, et forment ainsi une couche palissadique (*Trigonella Fœnum-græcum*, *Ulmus campestris*, *Bauhinia purpurea*, *Ricinus communis*, *Coulteria tinctoria*, *Acer platanoides*, *Sterculia platanifolia*, etc). La couche en palissade n'existe dans les cotylédons qu'à la face supérieure ; je ne l'ai jamais trouvée à la face inférieure, même chez l'*Eucalyptus robusta*, où la feuille possède une telle couche sur ses deux faces.

Entre la couche palissadique et les éléments isodiamétriques situés au-dessous, la limite est souvent très nette ; c'est au-dessous de cette limite que sont situées les nervures. Mais il arrive aussi que les cellules parenchymateuses de la face inférieure s'allongent toutes perpendiculairement à la surface du cotylédon, et qu'entre les cellules supérieures les plus longues, et les cellules inférieures presque globuleuses, il y a toutes les transitions ; de plus il n'y a pas d'arrangement en séries tangentielles. Une telle disposition constitue un passage entre le parenchyme homogène et le parenchyme à couche palissadique ; on pourrait l'appeler parenchyme radiant (*Castanea vulgaris*, *Hakea saligna*, *Sapindus cinereus*, *Kœlreu-*

teria paniculata, *Pistacia vera*, *Semecarpus Anacardium*, *Linum usitatissimum*, etc).

Le parenchyme devient encore hétérogène lorsque, toujours à sa face supérieure, il se forme, comme dans l'*Arachis hypogæa*, le *Corylus Avellana*, une couche de cellules rectangulaires disposées en séries perpendiculaires à la surface. Ces assises, qui conservent leur activité génératrice, fonctionnent pendant la formation de l'embryon, et plus tard pendant sa germination, en produisant de nouvelles cellules par des cloisons parallèles à la surface, et augmentent ainsi l'épaisseur du cotylédon (pl. 2, fig. 18).

Ainsi on distingue dans les cotylédons quatre sortes de parenchyme : le parenchyme homogène, le parenchyme radiant, le parenchyme à couche palissadique et le parenchyme à couche génératrice. Comme on le verra plus tard par l'étude des caractères que ces formes de tissus impriment aux cotylédons, l'arrangement homogène et celui à couche palissadique sont les plus naturels ; les autres paraissent n'en être que de simples variétés.

Chez tous, il existe des espaces intercellulaires remplis d'air, dont les dimensions varient à la fois selon les graines considérées, et dans une même graine selon la nature du tissu. Dans les parenchymes formés de cellules globuleuses, les espaces sont plus grands que dans les couches à palissade. Dans des cotylédons différents, les méats peuvent être très réduits, à peine visibles (Ricin, Trigonelle, etc.), ou bien devenir presque aussi grands que les cellules elles-mêmes, comme dans la graine sèche d'*Erythrina Crista-galli* (pl. 2, fig. 19). Les membranes qui confinent aux espaces intercellulaires déjà très développés de ce cotylédon se bombent vers le dehors, et augmentent encore la capacité de la lacune ; de là la grande légèreté spécifique de cette graine, déjà reconnue par M. Van Tieghem être due à la structure du cotylédon (1). Si l'on

(1) Van Tieghem, *Observations sur la légèreté spécifique et la structure de l'embryon de quelques Légumineuses* (*Ann. des sc. nat.*, 6e série, 1875, t. I, p. 383).

mouille des coupes microscopiques, le contenu cellulaire se gonfle, repousse les membranes bordant les lacunes, les bombe en sens inverse, et la lacune reprend l'aspect habituel (pl. 2, fig. 20). Il est donc indispensable, pour mettre en évidence la disposition ci-dessus, de ne se servir dans la préparation des coupes que de liquides non aqueux.

L'assertion de M. Sachs, d'après laquelle quelques cotylédons, entre autres celui du Ricin, ne contiendraient pas de méats et seraient formés de méristème, est donc erronée (1); la conclusion qu'il en tire, que le parenchyme de la feuille embryonnaire doit former de nouvelles cellules pendant la germination, tombe d'elle-même.

Comme généralité sur le parenchyme cotylédonnaire, on peut encore dire que ses cellules sont beaucoup plus grandes dans les cotylédons épais que dans les cotylédons minces. On a déjà vu, à la description spéciale du Marronnier et de l'Erythrine, la cause de cette différence. Les cotylédons épais acquièrent vite leur nombre définitif de cellules, et c'est ensuite uniquement par l'agrandissement des éléments déjà formés qu'ils arrivent à leur taille adulte. Les cotylédons minces, au contraire, doivent surtout leur croissance à la formation constante de nouvelles cellules, formation qui se continue jusqu'à un moment très voisin de la maturité de la graine. Enfin, vers les faces de l'organe, à l'exception de celles qui sont recouvertes par des cellules en palissade, et de la face supérieure du parenchyme radiant, les éléments se rapetissent; contre les épidermes, ils n'ont plus quelquefois que le cinquième ou le sixième du diamètre de ceux du centre (*Æsculus Hippocastanum*). Il en est de même autour des nervures.

On peut voir, en comparant un grand nombre de cotylédons, que la disposition homogène du parenchyme se trouve habituellement dans ceux qui présentent une grande épaisseur, tandis que le parenchyme en palissade existe exclusivement

(1) J. Sachs, *Ueber das Auftreten der Starke*, etc. (*Bot. Zeit.* 1859, p. 179.)

dans les cotylédons minces. On trouve donc déjà, par la considération d'un seul tissu, l'indice d'une division des cotylédons en deux groupes : les cotylédons épais et à parenchyme homogène, et les cotylédons minces à couche palissadique. En comparant plus tard entre eux les différents tissus et systèmes de tissus des cotylédons, nous verrons que ce résultat, ici seulement entrevu, se confirme.

Les membranes parenchymateuses présentent ordinairement une grande minceur. Dans quelques cas rares, elles s'épaississent considérablement (*Schotia latifolia*, *Tamarindus indica*, *Mucuna urens*, *Hymenæa Courbaril*) et forment un tissu de consistance cornée. Entre ces deux degrés extrêmes d'épaississement, on peut placer quelques intermédiaires (*Æsculus Hippocastanum*, *Caryophyllus aromaticus*, *Jambosa vulgaris*, *Eugenia axillaris*, *Laurus nobilis*, *Zea Mays*, *Physostigma venenosum*, *Phaseolus vulgaris*, *Arachis hypogæa*, *Zizygium jambolanum*, *Prunus Cerasus*, etc).

Des ponctuations simples existent presque toujours sur les parois cellulaires, quelle que soit leur épaisseur; elles sont naturellement limitées aux parties de la membrane qui séparent deux cavités cellulaires; le reste, confinant aux lacunes, en est dépourvu (*Erythrina*, *Castanea*, *Caryophyllus*, *Hakea*, *Schotia*, *Arachis*, *Æsculus*, *Dipteryx*, *Ricinus*, etc).

Quant à la nature chimique des membranes cellulaires, on peut dire que dans l'immense majorité des cas elle est cellulosique; il n'y a que de rares exceptions à cette règle. Dans les cotylédons à parois très épaisses cités ci-dessus (*Schotia*, *Tamarindus*, *Mucuna*, *Hymenæa*), et aussi chez les *Balsamina hortensis* et *Tropæolum majus*, la membrane est formée de granulose; cependant la lamelle intermédiaire, qui se continue sous forme de diaphragme à travers les ponctuations, conserve les réactions de la cellulose. Le bleuissement direct au contact des solutions iodées s'observe aussi à un beaucoup plus faible degré chez le Lin, et encore moins chez le Marronnier d'Inde. La paroi n'est donc pas composée ici, comme précédemment, de granulose pure, mais d'un mélange de gra-

nulose et de cellulose, où cette dernière substance prédomine. On aurait donc là une composition qui se rapprocherait de celle du grain d'amidon.

Les appareils sécréteurs existent rarement dans le parenchyme cotylédonaire, et bon nombre de plantes qui en possèdent dans leurs tiges ou leurs feuilles en sont ici dépourvues. Les graines suivantes seules m'en ont offert. Le cotylédon du *Laurus nobilis* présente, surtout au voisinage des épidermes, des cellules sécrétantes isolées, faciles à distinguer des autres par l'absence en leur cavité de toute formation figurée; mais je n'ai pas trouvé ces glandes unicellulaires dans le cotylédon du *Laurus Camphora*. Plusieurs graines de la famille des Myrtacées (*Caryophyllus aromaticus*, *Jambosa vulgaris*, *Zizygium jambolanum*, *Eugenia axillaris*, etc.) montrent dans le parenchyme cotylédonaire, immédiatement sous l'épiderme, de grandes lacunes remplies d'huile essentielle, et bordées par des membranes appliquées les unes contre les autres; ces organes, provenant de massifs de cellules sécrétantes dont les parois ont été en partie résorbées, font saillie à la surface du cotylédon et la rendent chagrinée.

Nervation. — Voyons d'abord quelle est la structure des nervures, nous étudierons ensuite leur course.

Presque toujours la nervure est formée uniquement de procambium. Rarement on y trouve une différenciation en bois à sa face supérieure, en liber à sa face inférieure, et entre les deux une couche génératrice (*Castanea vulgaris*, *Quercus Mirbeckii*, *Eriobotrya japonica*, *Æsculus Hippocastanum*, etc.). On peut remarquer dès maintenant que les cotylédons qui présentent ce perfectionnement de leurs nervures sont tous très épais et ne contiennent que de l'amidon comme réserve ayant pris forme.

Les canaux sécréteurs qui accompagnent les nervures dans les feuilles d'un grand nombre de familles ne se retrouvent qu'exceptionnellement dans leurs cotylédons. Les Térébinthacées seules m'ont offert quelques cotylédons où les faisceaux vasculaires contiennent, dans leur partie libérienne, un

canal sécréteur bien conformé (*Pistacia vera*, *Semecarpus Anacardium*, *Anacardium occidentale*).

La distribution des nervures dans le cotylédon est très variable et peut se ramener, comme chez les feuilles ordinaires, à quatre types principaux.

La nervation est réduite à sa plus grande simplicité lorsque le cotylédon, étant étroit, ne contient qu'une nervure unique médiane, qui le parcourt dans toute son étendue, sans se ramifier; le cotylédon est *uninerve*. Il en est ainsi chez un grand nombre de Monocotylédones (*Aponogeton distachyus*, *Cordyline indivisa*, *Dracæna nutans*, *Allium Cepa*, etc.) et la plupart des Conifères.

Dans le cotylédon du *Fourcroya Redinghausii*, deux nervures cheminent parallèlement de la base au sommet, et ne se ramifient pas. On se rapproche ainsi de la nervation *parallèle* des feuilles de Monocotylédones.

Le plus souvent, le cotylédon est parcouru par des nervures ramifiées. Lorsqu'une nervure principale médiane détache de chaque côté, en s'amincissant à mesure, des nervures secondaires qui sont insérées sur elle comme les barbes sur le tuyau d'une plume, la nervation est *pennée*, la feuille est *penninerve*. Ce cas paraît très rare; je ne l'ai rencontré que dans le cotylédon de la Trigonelle et celui du Tilleul.

Si de la base du cotylédon sortent plusieurs nervures divergentes dont la grandeur va en décroissant du centre de l'organe vers ses bords, comme les doigts de la main, la nervation est *palmée*, le cotylédon est *palminerve*. Ce type comprend plusieurs variétés; souvent il existe une nervure médiane qui est la continuation de celle du pétiole (*Citrus*, *Eriobotrya*, *Ulmus*, *Sterculia*, *Schotia*, *Coulteria*, *Coffea*, *Casuarina*, *Hedera*, etc.) (1). Mais il peut arriver que le pétiole ayant un nombre pair de nervures, la nervure médiane du limbe cotylédonaire soit formée par la réunion des deux nervures internes du pétiole, ou, lorsque celles-ci se ramifient, par leurs

(1) Pl. 3, fig. 42, 44, 48; pl. 4, fig. 49, 51, 52, 53.

rameaux les plus internes (*Acer platanoides*, *Arachis hypogæa*) (1). Enfin, quelquefois il n'y a pas de nervure médiane; les nervures principales, par conséquent toutes latérales, se comportent comme si le cordon médian existait (*Fagus silvatica*, *Quercus Mirbeckii*, *Laurus tomentosa*, *Amygdalus communis*, *Æsculus Hippocastanum*, *Latania borbonica*) (2). On voit donc qu'à l'encontre de ce qui a lieu chez les feuilles ordinaires, la nervation la plus fréquente est pour les cotylédons la nervation palmée.

Étudions maintenant la terminaison des nervures à l'intérieur du cotylédon.

Il y a deux types principaux à distinguer, suivant que tous les faisceaux et leurs ramuscules se terminent librement, ou qu'un plus ou moins grand nombre d'entre eux s'anastomosent en réseau à leur extrémité.

La terminaison exclusixement libre est la plus rare; on la rencontre chez les Monocotylédones à nervure simple ou double (*Fourcroya Redinghausii*), la plupart des Conifères et dans *Arachis hypogaea*, *Eriobotrya japonica*, *Quercus Mirbeckii*, *Citrus Aurantium* (3), etc. Chez les plantes dicotylédones qui présentent ce caractère, la nervation est toujours palmée et peu riche.

La terminaison anastomosée ne se remarque que dans les espèces à nervation pennée ou palmée. Tantôt il n'y a pas de terminaisons libres à l'intérieur des mailles formées par les anastomoses; on n'en trouve qu'à la périphérie (*Hedera Helix*, *Amygdalus communis* (4), etc.). D'autres fois, et le plus souvent, il y a des terminaisons libres, à la fois à l'intérieur des mailles et vers la périphérie (*Ulmus campestris*, *Acer platanoides*, *Sterculia platanifolia*, *Schotia latifolia*, *Coulteria tinctoria*, *Coffea arabica*, *Casuarina quadrivalvis*, *Laurus tomentosa*, *Æsculus Hippocastanum* (5). etc.).

(1) Pl. 3, fig. 45, et pl. 4, fig. 55.
(2) Pl. 3, fig. 47; pl. 4, fig. 54; pl. 5, fig. 57, 59, 60.
(3) Pl. 3, fig. 42, 45; pl. 4, fig. 51, 54.
(4) Pl. 3, fig. 47, 48.
(5) Pl. 3, fig. 44; pl. 4, fig. 49, 52, 53, 55; pl. 5, fig. 57, 59.

Les nervures se répandent quelquefois au hasard dans toute l'épaisseur du cotylédon (*Æsculus, Castanea, Caryophyllus, Jambosa, Simaba*). Dans le plus grand nombre des cas, les nervures se ramifient sur une surface unique, plane chez les cotylédons minces (*Fagus, Acer*, etc.), courbe lorsque le cotylédon est épais (*Cerasus, Amygdalus, Eriobotrya, Camphora, Ulmus, Sapindus*, etc.). La surface sur laquelle s'étend la nervation passe par le centre de l'épaisseur du cotylédon et aboutit de chaque côté à ses bords (pl. 2, fig. 32). Enfin, on rencontre parfois une combinaison de ces dispositions principales. Chez les *Arachis hypogæa, Corylus Avellana, Anacardium occidentale, Schotia latifolia*, les nervures principales cheminent non loin de la face inférieure du cotylédon, sur une surface courbe parallèle à cette face, et émettent par leurs bords supérieurs des ramuscules qui se distribuent dans la portion supérieure du parenchyme (1).

Relations entre la structure de l'épiderme, du parenchyme et des nervures.

On a pu voir dans le résumé ci-dessus de la morphologie des tissus cotylédonaires à l'état de vie latente, qu'il y a lieu de distinguer seulement deux grands groupes d'épidermes : ceux qui portent des stomates, et ceux qui en sont dépourvus. On peut de même ramener les parenchymes à deux formes principales : 1° les parenchymes épais, toujours à structure homogène, et 2° ceux qui appartiennent aux cotylédons minces, souvent recouverts par une couche palissadique. Cette division des cotylédons en deux coupes se retrouve encore si l'on considère à la fois la structure des nervures et leur mode de distribution. Les nervures différenciées appartiennent aux cotylédons purement amylacés, que nous verrons plus tard être toujours épais. Le mode de ramification à terminaisons libres, sans anastomoses et où les cordons sont peu nombreux, ne se trouve non plus que dans les cotylédons

(1) Pl. 2, fig. 31 ; pl. 3, fig. 46; pl. 4, fig. 50.

épais, tandis que la nervation anastomosée, beaucoup plus riche que la précédente, se voit toujours chez les cotylédons foliacés.

De ces faits il résulte qu'il y a une corrélation évidente entre les trois éléments, épiderme, parenchyme, nervation, qui constituent les cotylédons, et que ceux-ci se rangent par la considération de ces rapports en deux grandes classes : 1° les cotylédons à parenchyme épais et homogène, dont l'épiderme n'a pas produit de stomates, et où la nervation, peu abondante, n'est pas anastomosée (*Arachis*, *Citrus*, *Eriobotrya*, *Quercus*, etc.); 2° les cotylédons foliacés, où le parenchyme, peu développé, est recouvert par une couche de cellules en palissade, où l'épiderme forme des stomates, et où les nervures, présentant entre elles plus ou moins d'anastomoses, sont très abondamment développées et ressemblent au réseau vasculaire des feuilles ordinaires (*Casuarina*, *Acer*, *Coffea*, *Coulteria*, *Schotia*, *Trigonella*, *Linum*, etc.).

Cette loi, qui se détache certainement de la comparaison d'un grand nombre de cotylédons, est cependant soumise à de fréquentes exceptions. Chez les *Laurus tomentosa*, *Æsculus Hippocastunum*, *Amygdalus communis*, *Phaseolus vulgaris*, etc., les cotylédons, épais, sont parcourus par des nervures anastomosées. Par contre, les cotylédons minces ne possèdent jamais de nervation à terminaison exclusivement libre. Les mêmes faits se reproduisent si l'on considère les stomates; plusieurs cotylédons épais : *Dipteryx odorata*, *Erythrina Crista-galli*, etc., possèdent quelques stomates; d'autre part, des cotylédons foliacés : *Acer platanoides*, *Bauhinia purpurea*, *Cassia fistula*, *Grevillea robusta*, *Punica Granatum*, etc., peuvent ne pas présenter de ces organes; encore a-t-on le droit de faire remarquer, pour ce dernier cas, que des stomates se développant pendant la germination de ces graines, la règle posée ci-dessus n'est pas infirmée.

CONTENU CELLULAIRE. — *Corps protoplasmique.* — A l'état de repos de la graine, le corps protoplasmique se compose

toujours d'une utricule pariétale mince, logeant en un de ses points le noyau cellulaire. Il arrive souvent que le noyau, masqué par les réserves figurées dont les cellules sont remplies, ne peut être mis en évidence. Mais si l'on considère qu'il se retrouve toujours avant la maturité de la graine et pendant sa germination; qu'il est démontré qu'il ne se forme jamais spontanément aux dépens du protoplasma, mais dérive toujours d'un noyau préexistant, on sera conduit à admettre l'existence du corps protoplasmique, avec les caractères ci-dessus, dans les cellules de tous les cotylédons à état de vie latente.

Corps figurés dérivés du protoplasma. — On ne trouve dans les cotylédons des graines mûres que deux sortes de corps figurés : les grains d'amidon et les grains d'aleurone.

L'amidon existe quelquefois seul (*Castanea vulgaris*, *Laurus tomentosa*, *Quercus*, *Eriobotrya japonica*, *Nelumbium luteum*, *Æsculus Hippocastanum*, *Eugenia axillaris*, *Zizygium jambolanum*, *Jambosa vulgaris*, etc.). Il en est de même de l'aleurone (*Citrus Aurantium*, *Camphora officinarum*, *Casuarina quadrivalvis*, *Hakea saligna*, *Tamarindus indica*, *Arum maculatum*, *Ricinus communis*, *Cercis Siliquastrum*, etc., etc.). Le plus souvent les grains d'amidon et les grains d'aleurone se trouvent mélangés (*Phaseolus vulgaris*, *Arachis hypogæa*, *Sapindus cinereus*, *Sophora secundiflora*, *Lupinus albus*, *Pistacia vera*, *Laurus nobilis*, *Mucuna urens*, etc.).

La forme et la structure des grains d'amidon et des grains d'aleurone ayant été l'objet de nombreux mémoires spéciaux, il est inutile que je m'y arrête ici. Pour les grains d'aleurone, qui peuvent contenir des enclaves de diverse nature, je renvoie au travail de M. Pfeffer (1). Je ferai seulement quelques remarques au sujet de la place qu'occupent ces corps dans la cellule.

On a souvent dit que les organites amylacés ou aleuriques,

(1) Pfeffer, *Untersuchungen über die Proteinkörner* (*Jahrbücher für wiss. Botanik*, VIII, 1872, p. 429).

remplissant entièrement la cellule, sont plongés dans un protoplasma fondamental qui les englobe chacun en particulier. D'après ce que nous avons vu de la disposition du corps protoplasmique, il ne peut en être ainsi, et il n'y a que deux places possibles pour ces corps : ou bien ils sont jetés pêle-mêle et libres de toute adhérence dans la cavité cellulaire, vide de tout autre corps solide, ou bien, n'occupant que le pourtour de la cellule, ils restent fixés à l'utricule primordiale, dans l'épaisseur de laquelle ils ont pris naissance. Ces deux cas, que l'on pouvait prévoir, sont réalisés dans la nature. Les gros grains d'amidon du Marronnier, du Chêne, etc., et les gros grains d'aleurone de l'Arachide, du Ricin, etc., se présentent épars dans la cavité cellulaire, tandis que dans beaucoup de cotylédons à petits grains d'aleurone, tels que ceux de *Schotia*, de *Phaseolus*, d'*Erythrina*, etc., ces corps sont pariétaux, disposés à côté l'un de l'autre, comme des pavés, dans l'utricule protoplasmique. Pour plus de détails sur ce sujet, on devra se reporter au chapitre des descriptions spéciales.

Ce qui précède s'applique aux cellules du parenchyme. Celles des nervures et des épidermes en diffèrent quelquefois quant à leur contenu. Les cordons procambiaux, qui, comme on va le voir, se rencontrent exclusivement chez les cotylédons aleurifères, sont toujours remplis de grains d'aleurone très fins, ressemblant à des granulations. Les épidermes qui recouvrent ces mêmes cotylédons aleurifères ne contiennent que de petits grains d'aleurone, quand bien même le parenchyme renfermerait un mélange de grains d'amidon et de grains d'aleurone (*Arachis hypogæa*). Enfin les cellules épidermiques des cotylédons exclusivement amylifères se comportent de différentes façons. Quelquefois elles sont vides de toute formation figurée (*Æsculus Hippocastanum*, *Eriobotrya japonica*). Dans d'autres cas, on y trouve de très petits grains d'amidon. Mais les deux épidermes d'un même cotylédon peuvent différer : ainsi l'épiderme supérieur du *Quercus Mirbeckii* contient de ces petits grains d'amidon, tandis que l'inférieur en est dépourvu.

Relations entre la forme des tissus et la nature du contenu des cellules.

Les trois combinaisons de réserves figurées qui se trouvent dans les cotylédons : amidon, aleurone, amidon et aleurone, ont avec la forme des tissus une certaine corrélation. L'amidon pur, sans mélange d'aleurone, se rencontre exclusivement dans les cotylédons épais et volumineux (*Castanea*, *Quercus*, *Æsculus*, *Eriobotrya*, *Nelumbium*, *Zizygium*, *Kola acuminata*, etc.). Par conséquent, d'après ce qui a été indiqué ci-dessus, l'existence exclusive de l'amidon coïncide avec un parenchyme épais et homogène, un épiderme sans stomates, une nervation peu riche, palmée et sans anastomoses. Nous ajouterons encore que toujours, dans le cas qui nous occupe, les nervures sont différenciées en bois, liber et couche cambiale. Cette loi ne souffre d'exception que pour quelques cas où la nervation est anastomosée (*Æsculus*, *Laurus tomentosa*).

Par contre, les cotylédons minces, foliacés, ne contiennent jamais que de l'aleurone (*Casuarina*, *Grevillea*, *Hakea*, *Acer*, *Linum*, *Cercis*, *Trigonella*, *Poinciana*, *Croton*, *Ricinus*, *Rhamnus*, *Sterculia*, *Anona*, *Convolvulus*, *Hedera*, *Ferula*, etc.). Je n'ai rencontré, faisant exception à cette règle, que le cotylédon d'*Hedysarum sibiricum*, qui, bien que répondant à tous les caractères de structure des cotylédons minces, contient à la fois de l'amidon et de l'aleurone.

Ce sont là les deux seules lois que nous puissions tirer pour le moment de la comparaison des tissus et du contenu des cellules. Si donc on a affaire à un cotylédon épais, dont la réserve figurée ne soit pas purement amylacée, rien ne peut être prévu : les cotylédons épais d'*Amygdalus*, de *Citrus Aurantium*, de *Camphora officinarum*, de *Corylus*, de *Prunus*, de *Latania*, etc., ne contiennent que de l'aleurone; ceux de *Phaseolus*, d'*Erythrina*, d'*Arachis*, de *Kœlreuteria*, de *Sapindus*, de *Sophora*, de *Pistacia*, d'*Anacardium*, semblables pour

leur trame aux précédents, renferment à la fois de l'amidon et de l'aleurone.

Une troisième loi ayant un caractère assez général ressort encore de l'examen d'un grand nombre de cotylédons. Précédemment, pour ne pas introduire de confusion, nous avons considéré l'ensemble des tissus du cotylédon. Si l'on considère en particulier la structure de la nervure, on trouve : 1° que les cotylédons dont la réserve figurée est purement amylacée ont toujours leurs nervures différenciées en bois, liber et cambium ; 2° que les cotylédons qui contiennent de l'aleurone, soit seule, soit associée à l'amidon, possèdent toujours des nervures à l'état procambial. Cette seconde règle est soumise à quelques exceptions : le cotylédon du *Citrus Aurantium*, à réserve figurée uniquement aleurique, a des trachées au centre de ses nervures; ceux de *Laurus nobilis* et de *Laurus Camphora*, de *Dipteryx odorata*, de *Semecarpus Anacardium*, où l'on trouve des grains d'amidon et des grains d'aleurone, présentent de même des vaisseaux lignifiés. Sur cent et quelques graines examinées, ce sont les seules qui dérogent à la règle posée ci-dessus.

RÉSUMÉ.

Quant à leur forme, les cotylédons peuvent être divisés en deux grands groupes : les cotylédons épais et les cotylédons minces.

L'épaisseur ou la minceur de cet organe est en corrélation avec sa structure interne. Ainsi les cotylédons épais ont d'habitude le parenchyme homogène, l'épiderme sans stomates, la nervation peu abondante et quelquefois non anastomosée. A la minceur du cotylédon correspondent l'existence d'une couche palissadique à la face supérieure du parenchyme, des stomates plus ou moins complètement développés, et une nervation riche et toujours anastomosée.

L'épaississement des cotylédons est dû à un développement considérable de leur parenchyme en vue de conteuir une plus

grande quantité de réserve. Il correspond à l'épaississement des racines, des tiges, des feuilles, connu sous le nom de tuberculisation. Je propose donc de donner l'épithète de *tuberculeux* aux cotylédons épais. Les cotylédons minces se comportent, sur la fin de la germination, ainsi qu'on le verra plus tard, comme de véritables feuilles. Non-seulement ils montrent la structure de ces organes, mais encore assimilent comme eux, par leurs grains de chlorophylle, le carbone de l'atmosphère. Je les appellerai donc dans la suite cotylédons *foliacés*.

Le contenu figuré des cellules est, ou bien de l'amidon, ou bien de l'aleurone, ou enfin le mélange de ces deux substances.

Entre la nature du contenu cellulaire et la forme du cotylédon, il existe quelques relations constantes. Les cotylédons foliacés ne renferment en général que de l'aleurone. Parmi les cotylédons tuberculeux, les uns sont remplis exclusivement d'amidon et présentent toujours des nervures différenciées; les autres contiennent, soit de l'aleurone pure, soit un mélange de cette substance avec l'amidon. Les cotylédons qui contiennent de l'aleurone, sauf de rares exceptions, ont les nervures à l'état de procambium.

Nature des réserves figurées fournies par les cotylédons.

L'emmagasinement des substances qui doivent servir aux premiers développements de l'embryon étant le rôle essentiel des cotylédons, l'indication des différentes matières de réserve que ces organes contiennent doit former le résumé le plus condensé de ce qui vient d'en être dit.

Les réserves cotylédonaires peuvent être déposées sur la paroi ou dans la cavité cellulaire. On a vu que les cotylédons de *Schotia latifolia*, *Tamarindus indica*, *Mucuna urens*, etc., ont les membranes épaissies par une couche considérable de granulose. Dans le Marronnier, le Haricot, le Lupin, etc., les membranes, épaisses et cellulosiques, s'amincissent pendant la germination; elles constituent par conséquent une réserve de

cellulose. A l'intérieur des cellules, on trouve de l'amidon et de l'aleurone, toujours sous forme de grains, et enfin de l'huile grasse.

La granulose, la cellulose, l'amidon, l'aleurone et l'huile sont donc les principales substances organiques mises en réserve dans le cotylédon.

Toutefois l'amidon, l'huile et l'aleurone sont les plus fréquentes; la cellulose et encore plus la granulose ne se rencontrent qu'exceptionnellement.

Albumen.

Étudions maintenant l'albumen, en suivant la même marche que pour le cotylédon; les résultats qui découleront de cet examen seront ensuite comparés aux précédents.

L'albumen, en raison de la plus grande simplicité de sa structure, est beaucoup mieux connu que le cotylédon, et j'aurai peu de chose à ajouter à ce qui en est dit dans les ouvrages classiques.

TISSUS. — L'albumen est formé d'une masse parenchymateuse dont l'épaisseur varie depuis celle d'une pellicule mince (*Amygdalus communis*, *Juglans regia*, *Corylus Avellana*) jusqu'à plusieurs centimètres (*Myristica moschata*, *Cocos nucifera*, *Phytelephas macrocarpus*, etc.). Le plus souvent il a de 2 à 5 millimètres d'épaisseur. Dans les premiers de ces albumens, il n'y a qu'une seule assise de cellules; dans les autres, le nombre en est indéfini.

Par suite du mode de formation de l'albumen, ses cellules sont souvent superposées en direction radiale. Ainsi que M. Sachs l'a déjà reconnu, elles ne laissent jamais entre elles le plus petit méat; cependant chez le Ricin, contrairement aux observations de cet anatomiste, j'en ai trouvé de très petits. Elles ont les parois planes, et prennent la forme de prismes dirigés radialement (*Latania*, *Sterculia*); d'autres fois elles sont tout à fait irrégulières (*Coulteria*, *Trigonella*, etc.

(pl. 3, fig. 35); enfin, dans le Ricin, elles deviennent globuleuses.

Les membranes présentent tous les degrés d'épaississement; et, sous ce rapport, les différents albumens peuvent être répartis en trois groupes principaux : 1° Ceux à membranes tout à fait minces (*Sterculia platanifolia*, *Ricinus communis*, toutes les Euphorbiacées et les Conifères, le Maïs, l'*Arum*, etc.). Les uns contiennent de l'aleurone et de l'huile, et sont dits *oléagineux* ou *charnus;* les autres sont entièrement remplis d'amidon, et sont dits *amylacés*. 2° Ceux dont les membranes sont suffisamment épaisses pour communiquer au tissu une grande dureté, tout en conservant un lumen assez grand. Les albumens des Palmiers, des Liliacées, de la Noix vomique, de la Fève de Saint-Ignace, du Café, etc., en sont des exemples bien connus. Entre ces deux groupes, tous les intermédiaires se rencontrent: le Cerisier, le Lin, les Ombellifères, le *Lierre*, les Oléinées, présentent tous les passages entre les albumens à parois minces et ceux à membranes épaisses. 3° Dans la dernière catégorie, les parois se sont tellement épaissies, que toute trace de cavité a disparu; l'albumen sec, examiné dans l'alcool, forme une masse homogène et comme anhiste (*Trigonella Fœnum-græcum*). Les deux derniers groupes sont désignés sous le nom d'albumens *cornés*.

Presque toujours les parois de l'albumem se composent de cellulose. Chez plusieurs Légumineuses (*Cercis Siliquastrum*, *Trigonella*, *Gleditschia triacanthos*, *Poinciana Gilliesii*, *Coulteria tinctoria*, etc.), la paroi épaisse est formée en grande partie d'une substance gélifiée. Les albumens du *Strychnos Nux-vomica* et de l'*Ignatia amara* sont composés d'une cellulose qui se gonfle dans l'eau comme le mucilage. Enfin chez le *Sideroxylon atrovirens*, j'ai trouvé les membranes de l'albumen formées de granulose, comme dans le cotylédon du *Schotia latifolia*.

Le tissu parenchymateux qui vient d'être décrit forme le plus souvent toute la masse de l'albumen; quelquefois cependant il est recouvert vers l'extérieur par une assise de cellules

dont la forme, se rapprochant de celle des cellules épidermiques, diffère totalement de celle des éléments de l'intérieur de l'organe. Chez la Trigonelle et le Maïs, ces cellules, à parois assez épaisses, présentent une forme sensiblement cubique (pl. 3, fig. 35). Chez le Latanier, elles sont aplaties en table et très allongées (pl. 2, fig. 21). Chez le *Styrax officinalis*, elles s'épaississent en U vers leur face externe. Enfin, à la face interne de l'albumen, appliquée contre le cotylédon, il existe toujours une couche mince, feuilletée, formée par les parois amincies et appliquées les unes contre les autres des cellules de l'albumen détruites par l'accroissement de l'embryon.

CONTENU CELLULAIRE. — Le corps protoplasmique consiste, comme chez le cotylédon, en une couche pariétale de protoplasma, logeant en un de ses points le noyau. Je dois dire, cependant, que, dans bien des cas, sans doute à cause de la réduction de la cavité cellulaire, et des enclaves qu'elle contient, il m'a été impossible de voir ce dernier corps.

Le contenu des cellules de l'albumen est de l'amidon pur (Graminées, *Arum*) ou de l'aleurone pure; jamais le mélange des deux. Les albumens aleuriques se rencontrent le plus fréquemment; il est inutile d'en citer des exemples.

Relations entre la forme des tissus et la nature du contenu cellulaire.

Elles sont fort simples. Les albumens amylacés ont toujours les parois minces; chez les autres, elles peuvent prendre tous les degrés d'épaississement. Il n'y a donc pas de différence essentielle entre l'albumen corné du Dattier et l'albumen charnu du Ricin; d'ailleurs il existe, comme on l'a déjà vu, une foule de transitions entre ces deux types.

Relations entre les cotylédons et l'albumen.

Les cotylédons qui renferment de l'amidon, soit seul, soit mélangé à l'aleurone, sont privés d'albumen. Ceux, même

épais, qui contiennent de l'aleurone pure (*Amygdalus*, *Armeniaca*, *Prunus*, *Corylus*, *Juglans*, *Carya*, etc.), peuvent posséder un albumen. Cependant ces cotylédons sont peu nombreux, et leur albumen n'est que peu développé. D'autre part, les embryons à cotylédons foliacés ne sont pas nécessairement pourvus d'albumen ; les graines d'*Hedysarum sibiricum*, *Casuarina quadrivalvis*, *Grevillea robusta*, *Hakea saligna*, *Acer*, de toutes les Composées, Cucurbitacées, Crucifères, etc., en sont des exemples.

Nature des réserves fournies par l'albumen.

Les réserves à l'état précipité peuvent être déposées sur la paroi ou dans la cavité cellulaire. Les membranes des albumens cornés sont des réservoirs de cellulose ou de mucilage ; les membranes peuvent être aussi formées de granulose. A l'intérieur des cellules, on trouve de l'amidon et de l'aleurone, toujours sous forme de grains, et de l'huile.

La cellulose, le mucilage, l'amidon, l'aleurone, l'huile et la granulose sont donc les substances organiques mises en réserve dans l'albumen.

Ces substances diffèrent de celles signalées dans le cotylédon, en ce que le mucilage est assez fréquent chez l'albumen et ne se trouve jamais chez le cotylédon.

Les deux tableaux suivants résument les généralités exposées ci-dessus.

GRAINES EXALBUMINÉES.

1. COTYLÉDONS TUBERCULEUX (1).	Réserve figurée purement amylacée. Nervures différenciées en bois et liber.	Amidon pur		Castanea vulgaris. — Quercus pedunculata. — Quercus Mirbeckii. — Laurus tomentosa. — Kola acuminata. — Caryophyllus aromaticus. — Eugonia axillaris. — Jambosa vulgaris. — Zizygium jambolanum. — Eriobotrya japonica. — Simaba Cedron. — Nelumbium luteum. — Aponogeton distachyus. — Paullinia sorbilis.
		Amidon et huile		Æsculus Hippocastanum.
	Cotylédons contenant de l'aleurone. Nervures à l'état procambial.	Membranes cellulaires cellulosiques.	Aleurone et huile.	Citrus Aurantium. — Bassia Parkii. — Laurus Camphora. — Ulmus campestris. — Lupinus albus. — Camellia japonica.
			Aleurone et amidon.	Dolichos pruriens. — Physostigma venenosum. — Phaseolus vulgaris. — Ervum Lens. — Erythrina Crista-galli. — Mimosa scandens. Vicia sepium.
			Aleurone, amidon et huile.	Arachis hypogæa. — Sophora secundiflora. — Dipteryx odorata. — Kœlreuteria paniculata. — Sapindus cinereus. — Pistacia vera. — Laurus nobilis. — Anacardium occidentale. — Semecarpus Anacardium. — Theobroma Cacao.
		Membranes cellulaires formées de granulose.	Aleurone et huile.	Schotia latifolia. — Tamarindus indica. — Balsamina hortensis. Tropæolum majus.
			Aleurone, amidon et huile.	Mucuna urens.
2. COTYLÉDONS FOLIACÉS. Réserve figurée en général exclusivement aleurique. Nervures à l'état procambial.		Aleurone et huile		Casuarina quadrivalvis. — Grevillea robusta. — Hakeas aligna. — Acer platanoides. — Punica Granatum. — Crepis sibirica. — Tagetes stricta. — Cucurbita Pepo. — Isatis tinctoria. — Geranium palustre.
		Aleurone et amidon		Hedysarum sibiricum.

(1) Quelques cotylédons présentent à la maturité des caractères intermédiaires à ceux des cotylédons tuberculeux et des foliacés. J'ai classé ces cotylédons d'après le rôle qu'ils jouent pendant la germination. Ceux qui constituent un simple réservoir de substance nutritive ont été placés parmi les cotylédons tuberculeux; ceux au contraire qui forment des grains de chlorophylle et assimilent le carbone sont rangés parmi les cotylédons foliacés.

GRAINES ALBUMINÉES.

Les cotylédons contiennent toujours de l'aleurone; les nervures sont toujours à l'état procambial.

- **1. Cotylédons tuberculeux. Réserve composée de :**
  - Aleurone pure.................. — Albumen farineux. — Arum italicum.
  - Aleurone et huile ....
    - Albumen de même nature. — Amygdalus communis. — Armeniaca sativa. — Prunus domestica. Prunus Cerasus. — Corylus Avellana. — Juglans regia. — Pirus communis.
    - Albumen corné cellulosique. — Latania borbonica. — Phœnix dactylifera. — Phytelephas macrocarpus.
  - Aleurone, amidon et huile....... — Albumen farineux. — Zea Mays.
- **2. Cotylédons foliacés.**
  - Membranes cellulosiques. Réserve composée de :
    - Aleurone pure.. — Albumen à membranes gélifiées. — Cercis Siliquastrum. — Trigonella Fœnum-græcum. — Gleditschia triacanthos. — Poinciana Gilliesii. — Coulteria tinctoria. — Bauhinia purpurea.
    - Aleurone et d'huile.
      - Albumen de même nature que le cotylédon. — Croton Tiglium. — Ricinus communis. — Styrax officinalis. — Cedrus Libani. — Pinus halepensis. — Rhamnus Alaternus. — Euphorbia Lagascæ. — Scutellaria micrantha. — Solanum atropurpureum. — Ailantus glandulosa. — Melia Azedarach. — Evonymus europæus. — Anamirta Cocculus. — Berberis vulgaris. — Ruta graveolens. — Viola odorata.
      - Albumen farineux. — Sterculia platanifolia. — Mirabilis longiflora. — Saponaria officinalis.
      - Albumen corné cellulosique. — Anona Cherimolia. — Convolvulus althæoides. — Hedera Helix. — Ferula communis. — Coriandrum sativum. — Ignatia amara. — Strychnos Nux-vomica. — Asphodelus microcarpus. — Asparagus maritimus. — Delphinium Staphisagria. — Magnolia grandiflora. — Diospyros pubescens. — Billardiera fusiformis. — Fraxinus excelsior.
      - Membranes de l'albumen formées de granulose. — Sideroxylon atrovirens.
      - Albumen à membranes gélifiées. — Cassia fistula.
  - Membranes formées de granulose. — Cotylédon contenant de l'aleurone et de l'huile — Albumen de même nature que le cotylédon. — Linum usitatissimum. — Sesamum indicum.

Ils nous font voir que dans les graines exalbuminées les cotylédons ne renferment jamais exclusivement de l'aleurone; toujours cette substance est additionnée d'amidon ou d'huile. L'amidon, par contre, peut se trouver seul dans les cotylédons de ces graines. Donc les cotylédons des embryons sans albumen ne contiennent pas de réserve quaternaire seule; toujours elle y est accompagnée de substance ternaire; celle-ci au contraire peut exister seule.

Dans les graines albuminées, les cotylédons ne contiennent pas d'amidon; mais alors la substance ternaire est fournie par l'albumen, sous forme d'amidon, de cellulose, de granulose, d'huile ou de mucilage. Ici encore, par conséquent, la réserve quaternaire n'existe jamais seule. Mais à l'encontre de ce qui a lieu chez les graines sans albumen, la matière ternaire ne se trouve jamais non plus seule.

Ces tableaux montrent encore, autant que le nombre des espèces qui y sont étudiées le permet, que dans une même famille végétale, la nature de l'amande est constante. On y constate la même forme de cotylédons tuberculeux ou foliacés, le même contenu cellulaire et le même albumen. Quelques familles, parmi lesquelles celle des Légumineuses, font exception. Mais cette constance de la composition histologique et chimique de l'amande ne s'étend pas au delà de la famille; elle ne correspond à aucun des grands groupes admis dans les différentes classifications.

DÉVELOPPEMENT EMBRYONNAIRE.

Cotylédons.

TISSUS. — *Épiderme.* — Dans les plus jeunes cotylédons que j'aie pu examiner, les épidermes présentent une forme semblable sur les deux faces; ils sont composés de cellules tabulaires à membranes minces, cellulosiques, et à parois radiales planes; de sorte que les cellules, vues de face, figurent de petits polygones à côtés rectilignes. J'ai toujours trouvé les épidermes, même très jeunes, recouverts d'une mince cuticule.

Pendant le développement de la graine, les cellules épidermiques se multiplient; elles peuvent se déformer, épaissir leurs membranes et donner naissance à des stomates. Étudions ces phénomènes.

La multiplication des cellules épidermiques a lieu dans toute l'étendue du tissu; elle est donc diffuse et non localisée. Les parois nouvelles prennent toutes les directions. La division s'arrête à des moments différents du développement, selon la nature du cotylédon considéré. Dans celui du *Coulteria* et dans ceux qui, comme lui, sont foliacés et contiennent, à la maturité, de l'aleurone (*Acer*, *Trigonella*, *Hedysarum*, *Linum*, etc.), elle se continue jusqu'à l'état adulte, à un moment, qui sera plus tard fixé, où disparaît l'amidon primaire et où naît l'aleurone. Chez les cotylédons épais et amylacés, comme celui du Marronnier, la prolifération des cellules épidermiques cesse de bonne heure, alors que le cotylédon est loin d'avoir atteint ses dimensions définitives. L'extension de l'épiderme se produit dès lors uniquement par l'agrandissement des cellules.

Je n'ai trouvé de cellulles épidermiques notablement épaissies que dans le cotylédon du Marronnier.

Les stomates ne peuvent se former que lorsque les cellules épidermiques sont en état de division; dès que cet état cesse, la production des stomates est arrêtée et ils peuvent être surpris par la maturité, comme on l'a déjà vu, à différentes phases de leur développement. J'ai étudié la formation des stomates sur les cotylédons de *Trigonella Fœnum-græcum*, de *Coulteria tinctoria*, d'*Hedysarum sibiricum* et de *Linum usitatissimum*.

Dans les trois premières de ces plantes, les cellules épidermiques sont disposées irrégulièrement; quelques-unes de ces cellules se divisent en cellules filles inégales, par une cloison d'abord plane, qui devient ensuite courbe. La plus petite des cellules filles, qui sera la cellule mère du stomate, est toujours située à l'un des angles de la cellule épidermique primitive, et est, par conséquent, triangulaire (pl. 1, fig. 13, 14). Cette cellule se divise en deux par une cloison à direction indé-

terminée, et ces deux cellules donnent, à la suite de modifications convenables, les cellules de bordure du stomate.

Les cellules épidermiques de la graine de Lin sont rangées en séries longitudinales; quelques-unes d'entre elles se divisent en deux cellules inégales, dont la plus petite, située comme ci-dessus, à l'un des angles et à la partie supérieure de la cellule, est l'initiale du stomate (pl. 1, fig. 11). Mais, ainsi qu'il arrive dans les cas cités plus haut, elle n'en est pas la cellule mère; elle se divise en trois cellules par des cloisons parallèles et placées dans la direction des séries de cellules épidermiques. L'ensemble de ces trois cellules est donc, au contraire, perpendiculaire à ces mêmes séries; les cellules extrêmes sont des cellules annexes, et les deux parois qui les forment paraissent naître en même temps; la cellule centrale est la cellule mère du stomate, elle se divisera par une nouvelle cloison et donnera les cellules de bordure (pl. 1, fig. 12).

Ces deux modes de formation du stomate ont été signalés chez les feuilles ordinaires.

Parenchyme. — Au début de son existence, le cotylédon se compose de cellules à parois excessivement minces, cellulosiques, présentant la forme de polyèdres assez réguliers, et ne laissant entre elles que de très petits méats. Ces éléments, semblables dans toute l'épaisseur du parenchyme, sont souvent rangés par couches tangentielles; au début, le parenchyme est donc homogène, muriforme.

Pendant le développement du cotylédon, les cellules parenchymateuses s'agrandissent, se multiplient, épaississent leurs parois et se différencient souvent entre elles, de façon à rendre le parenchyme hétérogène. Voyons à quel moment ces modifications se produisent.

Il faut distinguer deux cas, selon que le cotylédon est foliacé, ou qu'il est tuberculeux.

Dans les cotylédons foliacés, dont les parois restent presque toujours minces, la différenciation des cellules en couche palissadique et en parenchyme irrégulier se produit d'assez bonne heure. La multiplication des cellules persiste long-

temps et dure jusqu'au moment de l'apparition des grains d'aleurone. Enfin, les cellules ne cessent de s'agrandir pendant toute la période du développement. Cet accroissement, assez faible tant que les cellules se multiplient, devient ensuite très actif, principalement dans le sens de l'épaisseur, et c'est à lui seul qu'est due l'augmentation de volume considérable qu'éprouve le cotylédon vers la fin de son développement. Comme on devait s'y attendre, la multiplication des cellules est beaucoup plus active dans le sens de la surface du cotylédon que dans le sens de l'épaisseur. L'activité est égale selon la longueur et la largeur, de sorte que l'élargissement et l'allongement du cotylédon sont dans le même rapport. Je me bornerai ici à ces indications sommaires, renvoyant pour plus de détail à l'histoire particulière du cotylédon de *Coulteria tinctoria*.

Les cotylédons tuberculeux offrent un mode d'évolution beaucoup plus simple; ceux du Marronnier en fournissent un exemple. Ici, le parenchyme étant homogène, il n'y a à s'occuper que de l'agrandissement, de la multiplication et de l'épaississement des cellules. La multiplication des cellules cesse de bonne heure, et c'est là une différence notable avec les cotylédons foliacés; le cotylédon est bien loin de sa grandeur définitive, lorsque ses cellules deviennent inaptes à se multiplier. L'accroissement considérable que prend ensuite l'organe doit donc être attribué uniquement à l'agrandissement des cellules existantes. Le volume du cotylédon étant ici produit par l'extension des cellules, tandis que précédemment il est dû à leur division souvent répétée, on voit pourquoi les cotylédons épais sont composés de cellules beaucoup plus grandes que celles des cotylédons minces.

L'épaississement des parois coïncide avec l'apparition des premiers grains d'amidon.

De ces faits on peut tirer cette conclusion que la multiplication des cellules épidermiques et celle des cellules du parenchyme cessent en même temps.

Le développement du cotylédon de *Schotia latifolia*, qui se range, d'après la plupart de ses caractères, parmi les cotylé-

dons minces, présente une particularité. La multiplication des cellules s'arrête de bonne heure, et par là il se rapproche des cotylédons épais. On a vu plus haut que cette apparente irrégularité est la conséquence nécessaire du degré considérable d'épaississement qu'acquièrent ses parois. Cet épaississement, qui met fin à la division des cellules, commence en effet avec la production des premiers grains d'amidon.

Nervation. — Il faut étudier le développement du réseau vasculaire et ensuite le mode de perfectionnement de la nervure.

Même dans les plus jeunes cotylédons que j'aie rencontrés, il y avait toujours au moins une nervure, la médiane qui avait pris naissance. La formation du réseau a lieu, en général, ensuite d'après les lois suivantes : à partir de la nervure médiane, qui d'abord n'atteint pas le sommet du cotylédon, les nervures principales latérales se produisent en allant de la nervure médiane vers les bords du cotylédon. D'abord très courtes, elles s'étendent ensuite vers le sommet du cotylédon. Le centre de la formation des nervures est donc le point d'insertion du cotylédon sur son pétiole; de là la production s'étend sur les côtés et vers le haut. Une fois les nervures principales formées, les autres naissent sur toute la surface du cotylédon d'après l'ordre de leur importance. Comme les nervures secondaires peuvent affecter toutes les directions possibles, il en résulte qu'une fois les nervures principales formées, la production des plus petites a lieu d'une façon diffuse.

Quant à la différenciation du cordon primitif, voici ce que l'on observe. Chez les cotylédons qui ne contiennent, à leur maturité que de l'amidon : *Quercus*, *Castanea*, etc., le cordon procambial se différencie de très bonne beure, aussitôt qu'apparaissent les premiers grains d'amidon. Cette différenciation du cordon en bois, liber et cambium, n'a rien du reste en elle-même qui puisse nous arrêter. Dans tous les autres cotylédons, ceux qui par conséquent contiennent de l'aleurone, le cordon reste, sauf les quelques exceptions citées plus haut, à l'état procambial.

Contenu cellulaire. — *Corps protoplasmique.* — Les cotylédons les plus jeunes ont leurs cellules remplies de protoplasma massif, grossièrement granuleux, enfermant en son centre un noyau volumineux muni d'un nucléole. Peu après, alors que les cellules s'agrandissent et se multiplient, des vacuoles se creusent dans cette masse compacte de protoplasma. Les vacuoles s'accroissent, et bientôt la disposition du corps protoplasmique se trouve entièrement modifiée. Il se compose actuellement d'une couche pariétale et d'un noyau central, reliés par des filaments rayonnants et très grêles de substance plasmatique. Enfin ces filaments disparaissent, et on ne trouve plus dans la cellule qu'un enduit mince qui tapisse la paroi, l'utricule primordiale. Le noyau est aussi devenu pariétal et se loge dans l'épaisseur de l'utricule, quelque peu renflée à cet endroit. Le corps protoplasmique conservera cette forme pendant tout le reste de l'existence du cotylédon; nous l'avons indiquée à la maturité et nous la retrouverons pendant la germination.

Les dispositions que prend le protoplasma pendant les états successifs de la vie d'une cellule cotylédonaire ne diffèrent donc pas de celles qui ont été signalées dans les éléments des autres organes.

Dérivés du protoplasma. — Nous allons d'abord examiner quels sont les différents organites qui prennent naissance dans le cotylédon pendant sa vie intra-ovarienne, en indiquant l'ordre suivant lequel ils apparaissent; puis nous dirons un mot du mode de formation de chacun de ces corps.

Sous le rapport de la nature des substances figurées qui prennent naissance dans leurs cellules, pendant la période de formation, les cotylédons se divisent en deux grands groupes correspondant à ceux qui ont été établis à l'état de maturité de la graine. Il y a des cotylédons où il ne naît que de l'amidon; ce sont ceux qui ne contiennent non plus que cette substance à l'état de vie latente (*Quercus*, *Castanea*, *Æsculus*, etc.). Les autres, ceux qui forment de l'aleurone, doivent être divisés en trois sous-groupes : 1° les uns ne contiennent

jamais que des grains d'aleurone (*Prunus Cerasus*, *Acer platanoides*, *Linum usitatissimum*, *Corylus Avellana*, etc.) ; 2° chez d'autres, il se produit, avant la naissance des grains d'aleurone, des grains d'amidon qui disparaissent avant la maturité de la graine (*Schotia latifolia*, *Trigonella Fœnum-græcum*, *Coulteria tinctoria*, etc.) ; 3° enfin il arrive souvent que les grains d'amidon persistent et se trouvent mêlés dans la graine mûre aux grains d'aleurone ; ce cas me paraît le plus fréquent (*Arachis hypogæa*, *Kœlreuteria paniculata*, *Sophora secundiflora*, *Lupinus albus*, *Phaseolus vulgaris*, *Pistacia vera*, *Anacardium occidentale*, *Semecarpus Anacardium*, *Laurus nobilis*, *Mucuna urens*, etc.).

Lorsqu'il ne se produit que de l'amidon dans les cellules du cotylédon, cette substance apparaît de très bonne heure, à peu près vers la fin de l'existence des filaments rayonnants ; la plus grande partie de cette substance se forme alors que le protoplasma est devenu tout à fait pariétal ; les cellules sont donc en état de multiplication et d'agrandissement très actif. J'ai observé que les grains d'amidon naissent toujours dans l'épaisseur du protoplasma, et sont produits, ainsi que l'a découvert M. Schimper, par des leucites incolores ; je ne m'arrêterai pas aux détails de cette formation, qui a fait le sujet d'un mémoire récent de cet habile observateur (1). J'ai montré, dans l'étude du développement des cotylédons du Marronnier d'Inde, que les grains d'amidon naissent disséminés et assez éloignés l'un de l'autre dans l'épaisseur de l'utricule pariétale ; qu'il ne naît pas de ces grains pendant toute la période de formation du cotylédon, mais qu'ils se produisent tous ensemble à peu près au même moment. En s'agrandissant, ils déchirent la mince couche de protoplasma qui les recouvrait et n'adhèrent donc plus au protoplasma que par leur face externe par rapport à la cellule ; du côté de la cavité ils sont libres. Leur accroissement les amène bientôt à

(1) W. Schimper, *Untersuchungen über die Entstehung der Stärkekörner* (*Bot. Zeit.*, t. XXXVIII, 1880, p. 881).

se toucher ; alors quelques-uns d'entre eux, trop pressés par leurs voisins, se détachent de l'utricule et tombent dans la cavité cellulaire ; les autres peuvent de nouveau s'accroître, et, lorsqu'ils viennent eux aussi à se toucher, se comportent comme les précédents. Ainsi la cellule se remplit peu à peu de grains d'amidon de tailles différentes.

Dans les cotylédons où il se produit de l'amidon et de l'aleurone, la première substance apparaît d'abord d'après la règle qui vient d'être indiquée. Lorsque les grains d'amidon sont arrivés à leur maximum de grandeur, naissent seulement les grains d'aleurone. Si les grains d'amidon doivent disparaître, ils se dissolvent peu à peu, également sur toute leur surface ; ils évoluent donc dès maintenant inversement des grains d'aleurone. Si les grains d'amidon persistent, les grains d'aleurone naissent entre eux sans que rien soit changé à leur mode de formation.

Je m'arrêterai un peu sur le mode de formation des grains d'aleurone. M. Pfeffer (1) ne nous fournit sur la naissance de la masse fondamentale que des données assez vagues. Il s'exprime à peu près en ces termes : « Lorsque la semence a atteint environ la moitié de sa grosseur et renferme encore beaucoup d'eau, le contenu des cellules se trouble par l'apparition dans le suc cellulaire d'une substance albuminoïde en très fins granules. Le trouble devient tellement considérable, qu'il est impossible d'apercevoir le noyau cellulaire. Puis il apparaît dans le contenu cellulaire trouble, des masses plus ou moins sphériques, composées de substance protéique dans lesquelles on remarque habituellement des enclaves cristallines. Ces jeunes grains d'aleurone s'accroissent pendant qu'en même temps il en naît de nouveaux, et la cellule arrive à ressembler à celle de la graine mûre. »

D'après ce que j'ai observé, il y aurait deux modes principaux de formation des grains d'aleurone : la formation en

(1) Pfeffer, *Untersuchungen über die Proteinkörner* (*Jahrbücher für wiss. Botanik*, VIII, 1872, p. 429).

masse, et la formation par bâtonnets, chacune comprenant deux subdivisions, suivant que le grain d'aleurone est homogène ou renferme des enclaves.

Mais il faut d'abord dire que les grains d'aleurone naissent à la périphérie de la cellule contre l'utricule protoplasmique. Les réactions de ces grains étant les mêmes que celles du protoplasma, il ne m'a pas été possible de décider si, comme cela arrive pour les grains d'amidon, ces corps sont enveloppés de toutes parts par le protoplasma, ou s'ils lui adhèrent seulement par une de leurs faces.

La naissance en masse des grains d'aleurone est très simple. Si le grain est homogène, il se produit à la surface de l'utricule de petits corps paraissant aplatis, circulaires, qui ne se distinguent d'abord que difficilement du protoplasma ambiant, et qui, à mesure que la graine mûrit, prennent une épaisseur plus grande et par suite un contour plus net, pour enfin arriver à la forme du grain d'aleurone adulte. Le début de l'existence du grain d'aleurone est, dans ce cas, difficile à saisir; il consiste en effet en une sorte d'élevure, de renflement de l'utricule ayant les bords aplatis; or ce renflement encore faible, d'autant plus qu'il est de même nature chimique que le corps sur lequel il se produit, ne peut s'apercevoir; ce n'est que lorsqu'il a acquis une certaine épaisseur et fait assez fortement saillie sur la couche pariétale protoplasmique, qu'il devient visible. J'ai rencontré ce mode de naissance chez le cotylédon de *Coulteria tinctoria*.

Quand le grain d'aleurone renferme des enclaves, celles-ci se forment d'abord, et c'est autour que naît la masse fondamentale du grain d'aleurone, de la manière qui a été indiquée ci-dessus. Dans le cas où les corps inclus sont multiples, un globoïde et un cristalloïde par exemple, ils naissent à côté l'un de l'autre avec leurs caractères distinctifs; ils grandissent tous deux ensemble, et c'est seulement quand ils ont acquis leur taille définitive que la substance fondamentale du grain d'aleurone se produisant, comme ci-dessus, entre eux et autour d'eux, les englobe et constitue ainsi le grain d'aleurone

complet. M. Pfeffer a donné dans le mémoire, cité plus haut, une bonne figure de ce mode de formation à propos des grains aleuriques de l'albumen du Ricin (pl. 37, fig. 12); je l'ai observé très nettement dans les cotylédons du Lin.

La formation des grains par bâtonnets a lieu de la façon suivante. Il apparaît dans la couche pariétale de protoplasma de petits bâtonnets incolores, très réfringents, montrant les réactions des matières albuminoïdes. Quelques-uns de ces corps sont très courts et paraissent rectilignes (pl. 6, fig. 67, *a*); d'autres plus longs sont toujours courbés (fig. 67, *b*, *c*). Ces bâtonnets se montrent, dans les cotylédons qui forment de l'amidon pendant leur jeunesse, entre les grains d'amidon (pl. 6, fig. 63 et 64). A partir de ce premier stade il peut arriver deux choses. Bientôt on voit que ces formations ne sont plus isolées, mais se groupent de manière à esquisser une circonférence (pl. 6, fig. 67, *f*, *g*, *h*); puis elles se réunissent et forment par conséquent une circonférence non interrompue (pl. 6, fig. 67, *i*). A ce moment l'amidon transitoire a disparu des cellules et ne gêne pas l'établissement de ces formations; les anneaux se touchent et ils recouvrent entièrement, tangents l'un à l'autre extérieurement, la surface de l'utricule protoplasmique (pl. 6, fig. 65). Ils s'épaississent ensuite vers l'intérieur, réduisant de plus en plus leur ouverture, si bien qu'au bout de peu de temps, celle-ci a entièrement disparu et le corps annulaire est devenu un corps massif qui est le grain d'aleurone (pl. 6, fig. 66). L'épaississement n'a pas toujours lieu également sur toute l'étendue de l'anneau; il prédomine souvent en quelque endroit, et l'ouverture se place excentriquement (même figure). On remarque aussi qu'à l'endroit du plus grand épaississement, le bord du grain en formation fait saillie vers le dehors, en sorte que la forme exactement circulaire observée au commencement du processus se change en une forme irrégulièrement ovoïde, que conservera le grain d'aleurone complètement développé.

Le bâtonnet initial peut suivre une autre marche; il reste isolé, ne s'associe pas à d'autres pour former une circonfé-

rence; pour arriver au grain d'aleurone il s'épaissit à son centre plus qu'à ses extrémités, et devient un croissant (p. 6, fig. 68, *a*, *b*). L'épaississement continuant, le croissant présente bientôt la figure d'un demi-cercle (pl. 6, fig. 68, *d*), et le côté plan de celui-ci devenant ensuite convexe, on passe à un corps globuleux qui est le grain d'aleurone. Ce procédé de formation des grains d'aleurone n'est qu'une variante du précédent.

Les grains d'aleurone qui naissent par bâtonnets ne contiennent, au moins dans les cas que j'ai observés, que des enclaves simples qui sont des cristaux d'oxalate de chaux. Dans l'Érable plane et dans le Cerisier, on remarque dans chaque cellule, parmi des cristaux simples plus petits, une macle sphérique volumineuse, à structure radiée. Le grain d'aleurone qui se forme autour d'elle et qui la renferme est de grande dimension et se présente comme un solitaire. J'ai pu suivre pas à pas la formation de ce grain volumineux. Comme toujours, l'enclave naît d'abord, puis on voit près d'elle un bâtonnet relativement long, courbé, et placé de façon à contenir le cristal dans sa concavité (pl. 6, fig. 71, *a*); les deux corps ne se touchent pas encore. Le bâtonnet s'agrandit, en même temps que par sa partie moyenne il s'épaissit; de la sorte, il entoure déjà plus complètement le cristal et se rapproche de lui sans le toucher cependant (*b*). Ces deux phénomènes : accroissement des cornes du bâtonnet et épaississement de sa partie centrale, continuant, le cristal adhère d'abord au croissant par son côté concave, puis est complètement englobé par lui (*c*). L'enclave est placée excentriquement dans la masse fondamentale du grain d'aleurone; elle est donc recouverte, d'un côté, par un enduit mince qui correspond au lieu de fermeture des pointes du croissant; de l'autre, par un dépôt considérable de matière protéique, qui représente la partie centrale toujours épaisse du bâtonnet.

En résumé, il y aurait donc deux modes de formation des grains d'aleurone; dans l'un, le grain naît tout d'une pièce à la surface de l'utricule; dans l'autre, la partie externe du grain

d'aleurone apparaît d'abord sous forme de bâtonnets qui n'ont plus qu'à s'épaissir pour constituer le grain d'aleurone. Chacun de ces modes de naissance peut se trouver isolé dans un même cotylédon; le premier s'observe exclusivement chez le *Coulteria tinctoria*, le second chez le Fenu-grec. Le plus fréquemment on les rencontre ensemble (*Acer platanoides*, *Prunus Cerasus*, *Schotia latifolia*).

Quelques cotylédons (*Schotia*, *Erythrina*, *Phaseolus*, etc.) présentent, à l'état de maturité, une particularité assez intéressante, déjà signalée. Si l'on place pendant quelque temps des coupes microscopiques de ces cotylédons dans un liquide capable de dissoudre leurs grains d'aleurone sans altérer le protoplasma, dans le liquide de Grönland, par exemple, on voit se dessiner à la surface de l'utricule un réseau à mailles polygonales formé par des bandelettes extrêmement ténues de matière albuminoïde (pl. 6, fig. 74). La dimension des mailles est égale pour chaque graine à la dimension des grains d'aleurone, et si l'on observe, sous le microscope, la dissolution de ces grains, on voit que chacun d'eux était logé dans une maille du réseau. Ces faits s'observent avec facilité dans le cotylédon de l'*Erythrina crista-galli.*

En étudiant le développement du cotylédon de *Schotia latifolia*, je me suis appliqué à rechercher quelles relations pouvaient exister entre le réseau ci-dessus mentionné et le grain d'aleurone. J'ai constaté, comme cela est indiqué à la description spéciale de cette graine, que le réseau apparaît avant les débuts de la formation des grains d'aleurone, que les bâtonnets naissent dans les mailles de manière que leur côté convexe soit appliqué contre le filament qui limite la maille (pl. 6, fig. 74). Lorsque les bâtonnets se sont réunis en anneaux, chacun de ceux-ci est placé dans une maille, dont il occupe la périphérie.

Il résulterait de là que chez le *Schotia*, avant de former les grains d'aleurone, l'utricule protoplasmique se divise en petits polygones qui s'individualisent, et dont chacun est chargé de produire un grain d'aleurone.

Dans bon nombre de cotylédons, je n'ai pu trouver le réseau protoplasmique; mais, si l'on admet que chez eux l'utricule se divise aussi en polygones qui ne sont pas visibles, parce que entre eux le protoplasma ne s'épaissit pas de manière à donner une ligne de séparation, on aura une explication satisfaisant l'esprit, au sujet de quelques particularités que présente la naissance des grains d'aleurone. N'est-il pas étonnant, en effet, que lorsque les enclaves sont multiples et de nature différente, un globoïde se forme toujours à côté d'un cristalloïde, comme dans le Ricin et le Lin, ou un cristalloïde à côté d'un cristal, comme dans l'*Æthusa Cynapium*, ou encore un globoïde à côté d'un cristal (*Corylus*) ; qu'enfin dans le cas d'enclave simple, celle-ci se trouve toujours placée dans la concavité d'un bâtonnet? Ces associations de corps différents n'ont pas été expliquées. Or, si l'on admet que chez tous les cotylédons, la couche pariétale de protoplasma se divise en polygones, dont chacun doit former un grain d'aleurone, on aura une explication rationnelle du phénomène. Chaque polygone produira d'abord les enclaves, qui se trouveront ainsi naturellement réunies comme il convient, puis ensuite la masse fondamentale enveloppante. Toutes les parties qui constituent un même grain d'aleurone devant être formées par un petit fragment spécialisé de l'utricule primordiale, il est inévitable que toutes ces parties se trouveront à leur naissance groupées comme on sait.

Chlorophylle. — Bon nombre de cotylédons sont colorés en vert au début de leur existence. Ce fait a été relaté par plusieurs observateurs, entre autres par M. Flahault (1), qui admet que la matière colorante est déposée également sur tout

(1) Flahault, *Sur la présence de la matière verte dans les organes actuellement soustraits à l'influence de la lumière* (*Bull. de la Soc. bot. de France*, t. XXVI, 1879, p. 249).

A. Brongniart avait déjà signalé de jeunes embryons verts chez les Crucifères, les Rhamnées, la Capucine, l'*Ipomœa purpurea*, le *Ceratophyllum*, le *Cucurbita cerifera* et plusieurs Légumineuses.

Barnéoud a trouvé le même fait chez les Violariées et les Plantaginées (Barnéoud, *Ann. des sc. nat.*, 3e série, t. V, 1846, p. 81).

le protoplasma, sans qu'il y ait de formations spéciales chargées de lui servir de substratum. J'ai observé la même distribution de la chlorophylle, et, de plus, j'ai remarqué que, si les cellules contiennent des corps figurés, grains d'amidon ou grains d'aleurone, ceux-ci servent de même de substratum à la matière colorante. Des grains d'amidon et d'aleurone colorés en vert ont, du reste, été déjà signalés (1).

J'ai examiné sous ce rapport les familles les plus répandues (2) ; il en résulte que la présence de chlorophylle dans les jeunes cotylédons est beaucoup plus fréquente qu'on ne le pense généralement. Elle est constante dans le genre et même dans la famille, sauf quelques exceptions; ainsi le *Citrus nobilis*

(1) Beck, *Vergleichende Anatomie der Samen von Vicia und Ervum* (*Arbeiten des pflanzenphysiologischen Institutes k. k. Wiener Universität*. Band LXXVII, 1878).

Cet auteur a trouvé des grains d'aleurone colorés en vert dans le pétiole cotylédonaire de *Vicia* et d'*Ervum*.

(2) Voici la liste des cotylédons jeunes, colorés en vert, que j'ai observés :

CRUCIFÈRES.
Sinapis alba.
Brassica oleracea.
Barbarea vulgaris.
Arabis Turrita.
Farsetia clypeata.
Biscutella auriculata.
Isatis tinctoria.

CAPPARIDÉES.
Capparis spinosa.
Cleome (plusieurs espèces).

RÉSÉDACÉES.
Reseda Phyteuma.

CISTINÉES.
Helianthemum vulgare.
Helianthemum mutabile.
Fumana Spachii.

VIOLARIÉES.
Viola alba.
— mirabilis.
— sylvatica.
— elatior.
— rothomagensis.

MALVACÉES.
Hibiscus Trionum.
Lavatera trimestris.
— moschata.
Althæa rosea.
Malva sylvestris.
— peruviana.
Malope grandiflora.
Palava malvæfolia.
Napæa lævis.

TILIACÉES.
Tilia europæa.

HYPÉRICINÉES.
Hypericum floribundum.
— quadrangulum.
— perforatum.

AURANTIACÉES.
Citrus nobilis.

ACÉRINÉES.
Acer pseudo-Platanus.
- campestre.
— platanoides.
— Negundo.

GÉRANIACÉES.
Pelargonium zonale.
Geranium sylvaticum.
— aconitifolium.
— pratense.
— sanguineum.
— collinum.
Erodium moschatum.
— sebaceum.
— ciconium.
— arabicum.

LIMNANTHÉES.
Limnanthes Douglasii.

TROPÉOLÉES.
Tropæolum majus.
— minus.

LINÉES.
Linum usitatissimum.
— pallescens.
— flavum.
— corymbosum.
— Leonii.

OXALIDÉES.
Oxalis stricta.

RUTACÉES.
Ruta graveolens.
— macrophylla.

STAPHYLÉACÉES.
Staphylea pinnata.

CÉLASTRINÉES.
Evonymus latifolius.
— verrucosus.

RHAMNÉES.
Rhamnus catharticus.
— Frangula.

TÉRÉBINTHACÉES.
Pistacia vera.
Cneorum tricoccum.

LÉGUMINEUSES.
Astragalus falcatus.
Pisum sativum.

a son jeune embryon coloré en vert, tandis que celui du *Citrus Aurantium* est blanc. Les familles suivantes possèdent de la chlorophylle dans leurs jeunes embryons : Crucifères, Capparidées, Résédacées, Cistinées, Violariées, Malvacées, Tiliacées, Hypéricinées, Acérinées, Géraniacées, Limnanthées, Tropéolées, Linées, Oxalidées, Rutacées, Staphyléacées, Célastrinées, Rhamnées, Térébinthacées, Légumineuses, Myrtacées, Araliacées, Cornées, Valérianées, Dipsacées, Asclépiadées, Convolvulacées, Polémoniacées, Basellacées. On peut citer comme ne présentant pas ce caractère les familles des : Renonculacées, Berbéridées, Papavéracées, Fumariacées, Caryophyllées, Ampélidées, Hippocastanées, Balsaminées, Rosacées, Lythrariées, Onagrariées, Crassulacées, Ombellifères, Araliacées, Rubiacées, Caprifoliacées, Composées, Campanulacées, Cucurbitacées, Primulacées, Oléinées, Apocynées, Gentianées, Borraginées, Solanées, Verbascées, Scrofulariées, Verbénacées, Labiées, Plantaginées, Phytolaccées, Chénopodiées, Bégoniacées, Euphorbiacées, Celtidées, Urticées, Corylacées, Cupulifères. Je n'ai rencontré de cotylédons verts ni chez les Conifères, ni chez les Monocotylédones. On voit, en outre, par les énumérations ci-dessus, que c'est parmi les plantes à fleurs hypogynes que l'on trouve le plus d'embryons colorés en vert ; que des familles très voisines se comportent différemment sous ce rapport. Par exemple, chez les Légumineuses et les Dipsacées, l'embryon est coloré en vert pen-

Vicia Faba.
Hedysarum sibiricum.
Acacia longissima.

MYRTACÉES.

Eugenia axillaris.
Jambosa vulgaris.
Zizygium jambolanum.

ARALIACÉES.

Hedera Helix.

CORNÉES.

Cornus mas.
— sanguinea.

VALÉRIANÉES.

Valeriana officinalis.
Centranthus ruber.
Valerianella pumila.

DIPSACÉES.

Scabiosa columbaria.
— suaveolens.
— Fischerii.
Pterocephalus paleotinus.
Knautia arvensis.
Cephalaria alpina.
— tatarica.
— procera.
Dipsacus pilosus.
— Gmelini.
— laciniatus.
— fullonum.

ASCLÉPIADÉES.

Vincetoxicum officinale.
— nigrum.
— medium.
Asclepias syriaca.

CONVOLVULACÉES.

Convolvulus tricolor.
Quamoclit coccinea.
Pharbitis purpurea.

POLÉMONIACÉES.

Ipomopsis elegans.
Gilia capitata.
— millefolia.
— tricolor.
Phlox Drummondii.
— paniculata.

BASELLACÉES.

Basella rubra.

embryonnaire, comment se produit la cellule mère; celle-ci, pendant la germination, n'a plus qu'à se diviser pour former le stomate. Nous verrons plus tard à quel moment, relativement aux autres phénomènes dont le cotylédon est le siège, se produisent toutes les divisions cellulaires de l'épiderme.

Quelle que soit la façon dont ils se développent, les stomates se trouvent le plus souvent sur les deux faces du cotylédon (*Scutellaria micrantha*, *Bonjeanea hirsuta*, *Veronica hederæfolia*, *Datura Stramonium*, *Raphanus sativus*, *Althæa rosea*, *Tetragonolobus Requiemi*, *Dipsacus ferox*, *Echium creticum*, *Onopordon Acanthium*, *Torilis Anthriscus*, *Cucurbita Pepo*, *Convolvulus tricolor*, *Euphorbia Lagassæ*, *Lavandula pubescens*, *Salvia Sclarea*, *Lupinus albus*, *Ipomæa peltata*, *Linum usitatissimum*, *Mercurialis annua*, etc.). Il est beaucoup plus rare de les rencontrer sur une seule face (l'inférieure : *Fraxinus excelsior*, *Fagus sylvatica*, *Phaseolus vulgaris*, *Anthriscus Cerefolium*, *Dolichos sesquipedales*, *Papaver officinale;* la supérieure : *Ulmus montana*, *Abies pectinata*, *Pinus Pinea*, etc.).

On voit par là que la règle posée en considérant les graines à l'état de repos, à savoir que les stomates n'existent ordinairement pas sur les cotylédons tuberculeux, tandis qu'ils sont très fréquents sur les cotylédons minces, se vérifie encore pendant la période germinative. En effet, la plupart des cotylédons à stomates cités à l'instant sont foliacés.

Des poils peuvent se former, d'ordinaire sur les deux faces du cotylédon, pendant la germination ; on peut dire à cet égard que les plantes qui ne possèdent pas de poils sur leurs feuilles n'en ont pas sur leurs cotylédons, mais que celles qui se trouvent dans le cas contraire n'ont pas toujours les cotylédons velus. Ainsi les plantes suivantes : *Cineraria maritima*, *Solanum atropurpureum*, *Scutellaria micrantha*, *Veronica hederæfolia*, *Tetragonolobus Requiemi*, *Echium creticum*, *Anchusa officinalis*, *Lavandula pubescens*, *Salvia Sclarea*, *Grevillea robusta*, *Pelargonium tomentosum*, *Lactuca stricta*, *Cannabis sativa*, etc., pileuses à différents degrés, présentent le même caractère sur leurs cotylédons en pleine germination. Par

contre, les *Solanum marginatum*, *Datura Stramonium*, *Aralia hispida*, *Raphanus sativus*, *Althæa rosea*, *Dipsacus ferox*, *Onopordon Acanthium*, *Torilis Anthriscus*, etc., dont les feuilles sont très velues, ont des cotylédons tout à fait glabres. La feuille embryonnaire de *Mesembrianthemum cristallinum* offre, comme la feuille végétative, des cellules épidermiques prolongées vers le dehors en papilles.

Aucune règle ne paraît présider à cette distribution des poils sur les cotylédons.

Je n'ai pas rencontré de poils ramifiés, ni en massifs; toujours ces organes étaient simples, formés d'une seule cellule ou de plusieurs, rangées en une seule série. Lorsque sur la plante les poils présentent quelques particularités, elles se retrouvent habituellement dans les poils du cotylédon. Par exemple : les poils cotylédonaires des Labiées se terminent tous par une cellule glanduleuse comme ceux des feuilles; ceux de l'*Echium creticum*, de l'*Anchusa italica*, implantés sur une rosette de cellules épidermiques épaissies, présentent le même caractère sur le cotylédon.

Lorsque, comme je l'ai observé seulement chez le cotylédon du Marronnier, les membranes épidermiques possèdent une grande épaisseur, elles s'amincissent beaucoup pendant la germination et par là montrent qu'elles constituaient une réserve de cellulose.

Une membrane cuticulaire plus ou moins épaisse, mais toujours homogène et sans proéminences internes, recouvre constamment l'épiderme. J'ai observé dans un cas (*Æsculus*) la subérification de l'épiderme inférieur seulement.

Parenchyme. — Nous considérerons la disposition des cellules, leur multiplication et l'épaisseur de leurs membranes.

Les parenchymes homogènes et les parenchymes radiants, appartenant presque toujours, comme on l'a vu, aux cotylédons épais, ne modifient pas leur conformation pendant la germination. Cependant dans la graine de *Lupinus albus*, dont le parenchyme est homogène à l'état de repos, il se produit, pendant la germination, un arrangement particulier des cel-

lules de la face supérieure, qui simule une couche palissadique (pl. 2, fig. 16). Ces cellules, par places dissociées latéralement, sont rangées en séries radiales, mais non en séries tangentielles. La face inférieure a conservé ses cellules globuleuses, dissociées maintenant en un parenchyme très lacuneux.

Les cotylédons minces et à couche palissadique ne changent pas leur structure pendant la germination, sinon que les cellules palissadiformes s'allongent davantage; la couche qu'elles forment se sépare alors plus nettement du reste du parenchyme. Les cellules du parenchyme inférieur deviennent souvent étoilées et constituent un parenchyme de consistance spongieuse (*Fagus sylvatica*, *Althæa rosea*, *Tetragonolobus Requiemi*, *Dipsacus ferox*, *Echium creticum*, *Onopordon Acanthium*, *Cucurbita Pepo*, *Lactuca sativa*, etc.).

Les cotylédons tuberculeux n'augmentent pas, pendant la germination, le nombre des cellules de leur parenchyme. Parmi les cotylédons foliacés, il faut distinguer deux catégories : ceux qui s'étendent peu (*Coulteria tinctoria*, *Linum*, *Hedysarum*, etc.) ne forment pas de nouvelles cellules; leur extension est due à l'agrandissement des cellules préexistantes et à la formation entre elles de grandes lacunes aérifères. Les cotylédons qui prennent une grande extension (Ricin, Café, Lierre, etc.) sont, au contraire, le siège d'une division active des cellules, division qui se remarque aussi bien dans les cellules en palissade que dans les cellules globuleuses. Cette division se fait toujours par des cloisons perpendiculaires à la surface, en sorte que le cotylédon augmente peu en épaisseur, mais énormément en surface.

Lorsque les membranes cellulaires présentent, à l'état de repos de la graine, une certaine épaisseur, soit par un dépôt de granulose, soit par un dépôt de cellulose, ce dépôt se dissout pendant la germination, et les membranes reviennent à leur minceur primitive (*Schotia latifolia*, *Æsculus Hippocastanum*, *Lupinus albus*, *Phaseolus vulgaris*, *Thevetia neriifolia*, etc.).

Enfin, pour terminer ce qui a trait au parenchyme, nous dirons que les cotylédons des plantes qui contiennent des appareils glanduleux, et qui ne les ont pas formés à l'état de maturité, les forment pendant la germination. Ainsi, j'ai trouvé des canaux sécréteurs dans les cotylédons développés des plantes suivantes : *Abies pectinata*, *Pinus Pinea*, *Torilis Anthriscus*, *Anthriscus Cerefolium*, *Coriandrum sativum*, *Fœniculum vulgare*, *Hedera Helix*, etc., et des vaisseaux laticifères dans la feuille embryonnaire des : *Euphorbia Lagassæ*, *Thevetia neriifolia*, *Papaver officinale*, *Lactuca stricta*, *Picridium tingitanum*, *Barckausia rubra*, *Crepis sibirica*, *Helminthia echioides*, *Picris hieracioides*, etc. Le cotylédon d'*Eucalyptus robusta*, étalé et verdi, avait formé des glandes sur ses deux faces comme les feuilles ordinaires, ainsi que celui de *Citrus Aurantium*. Tous ces cotylédons étaient sans appareils sécréteurs à l'état de vie latente.

Nervation. — Les nervures se comportent pendant la germination, au point de vue de leur multiplication, comme le parenchyme et l'épiderme. Chez les cotylédons tuberculeux et les cotylédons foliacés qui ne prennent pas une grande extension, et où par conséquent les cellules du parenchyme et de l'épiderme ne prolifèrent pas, le nombre des nervures n'augmente pas. La course des nervures avait donc atteint, dès l'état de maturité, son développement définitif. Au contraire, les cotylédons foliacées qui s'étendent beaucoup, comme ceux du Ricin et de la Courge, dont les cellules parenchymateuses et épidermiques se multiplient pendant la période germinative, complètent seulement à ce moment leur système de nervation.

Nous avons déjà vu que, sauf de rares exceptions, les cotylédons qui contiennent de l'aleurone possèdent, à l'état de repos, des nervures composées uniquement de procambium. C'est seulement pendant la germination que des trachées se différencient à la face supérieure du cordon procambial. L'apparition des premiers vaisseaux coïncide toujours avec la

naissance, dans les cellules du parenchyme, des premiers grains d'amidon de seconde formation.

Arrivée à son complet développement, la nervure médiane se compose, qu'elle se soit différenciée avant la maturité de la graine ou seulement pendant la germination, des tissus suivants :

Il peut se faire que peu de bois secondaire prenne naissance, et la partie ligneuse du cordon ne comprend que quelques vaisseaux isolés (*Coulteria*, *Arachis*) ; mais chez le Ricin, le Lierre (pl. 5, fig. 61), la Nèfle du Japon, le bois secondaire, relativement très développé, forme sur la coupe un éventail composé par cinq ou six rangs de vaisseaux superposés radialement. Quelques rayons médullaires traversent cet îlot ligneux.

Il existe partout du cambium, formant une couche génératrice continue (Ricin, Marronnier, Lierre, Nèfle du Japon, Chêne), ou interrompue (*Coulteria*).

Le liber conserve habituellement ses éléments mous ; mais il peut se former à la face externe de ce tissu une couche de cellules épaissies, d'une seule assise dans le Marronnier, de cinq ou six dans le *Coulteria*. Les principales nervures de l'*Eriobotrya japonica* ont toutes leurs cellules épaissies, et dans le *Latania borbonica*, il se produit à la face externe du faisceau un arc très épais composé de fibres libériennes (pl. 5, fig. 62). Tous ces éléments solidifiés présentent l'éclat nacré particulier qu'on est habitué à voir en pareil cas. Dans la partie du liber qui a conservé ses membranes minces, les cellules, égales entre elles, forment quelquefois un tissu homogène (*Hedera Helix*, *Coulteria tinctoria*, etc.), ou bien, devenant inégales, les petites se groupent en îlots, séparés par des cellules plus grandes qui produisent l'effet de lacunes ; cette disposition est très accentuée dans les faisceaux libéro-ligneux du Marronnier d'Inde et de l'Érable plane (pl. 5, fig. 58).

Chez le Ricin et le Lierre, l'épiderme qui recouvre la nervure médiane est doublé d'une couche hypodermique collenchymateuse existant aux deux faces du cotylédon. L'hypoderme

n'arrive pas jusqu'au faisceau. Ce tissu de renforcement ne se rencontre que dans les cotylédons qui se développent en feuilles minces et où, par conséquent, la nervure principale fait saillie ; chez ceux qui, bien que présentant la structure et l'aspect d'une feuille, ont une certaine épaisseur, et où le parenchyme est assez épais pour contenir la nervure sans la laisser proéminer, l'hypoderme n'existe pas (Coulteria, Lin, Trigonelle, etc.) ; il en est de même, à plus forte raison, chez les cotylédons tuberculeux.

Telle est la structure générale de la nervure médiane et des nervures principales. Les autres n'en diffèrent que par un moindre développement des différentes parties et par l'absence fréquente de couche cambiale. De plus, ces nervures de second ordre ne sont jamais accompagnées de faisceau hypodermique.

Dans aucun cas je n'ai remarqué de cellules criblées parmi les éléments du liber.

Enfin, le bois et le liber affectent l'un par rapport à l'autre dans les faisceaux du cotylédon germé, les mêmes dispositions que dans les autres parties de la plante. Par exemple, le faisceau cotylédonaire de l'Oranger est concentrique avec bois intérieur comme celui de la feuille ; ceux de la feuille embryonnaire du *Solanum atropurpureum* et du *Cucurbita Pepo* sont bicollatéraux, comme dans les autres organes de ces végétaux.

CONTENU CELLULAIRE. — *Corps protoplasmique.* — Pendant toute la durée de la germination, le protoplasma se présente sous la forme d'une couche mince, pariétale (utricule primordiale), contenant en un de ses points le noyau cellulaire. C'est de cet enduit plasmatique que naissent tous les organites que nous allons voir se produire dans les cellules.

Dérivés du protoplasma. — Sous le rapport des formations figurées qu'ils contiennent pendant la germination, les cotylédons se divisent en deux grands groupes correspondant à ceux déjà déterminés pendant l'état de vie latente de la graine et

pendant son développement. Le premier groupe comprend les cotylédons à réserve purement amylacée (Chêne, Marronnier, etc.), et le second ceux qui contiennent de l'aleurone, que cette substance soit seule, ou mélangée d'amidon. Dans chacun de ces groupes, l'évolution du contenu des cellules se fait d'après les mêmes lois fondamentales, mais d'un groupe à l'autre elle diffère essentiellement.

Chez les cotylédons du premier groupe, les transformations qui ont lieu dans le contenu des cellules présentent la plus grande simplicité. Pendant la germination, les grains d'amidon se dissolvent et, à leur place, il n'apparaît aucun autre corps figuré. C'est habituellement par dissolution égale que les grains d'amidon disparaissent; je n'ai observé le mode local que chez l'*Eriobotrya japonica*. L'amidon n'est jamais entièrement résorbé; il en reste encore une assez grande quantité, ainsi que l'a mentionné M. Sachs, au voisinage des épidermes et autour des faisceaux vasculaires, dans la couche dite amylifère.

Une fois sortis de leurs enveloppes et exposés à la lumière, quelquefois même dans la graine non germée, ces cotylédons verdissent. Le verdissement est presque toujours dû à un dépôt de chlorophylle sur le protoplasma et les grains d'amidon, mais il ne se forme pas de grains de chlorophylle.

Cependant, chez une seule graine, le *Quercus Mirbeckii*, de telles formations prennent naissance, pendant la germination, à la face inférieure seulement du cotylédon. Elles paraissent sous forme de petites élevures de l'utricule pariétale, d'abord très faibles (pl. 6, fig. 77), puis s'accentuant de plus en plus et donnant de vrais grains de chlorophylle (fig. 78), toujours appliqués, par conséquent, contre la couche pariétale protoplasmique. Plus tard, on trouve ces grains de chlorophylle remplis entièrement par un grain d'amidon composé. Entre les grains partiels d'amidon, il ne reste plus que de minces couches de la substance du grain de chlorophylle (pl. 6, fig. 79 et 80). Ces grains d'amidon, produits de l'assimilation de la chlorophylle, ont le même sort que ceux qui compo-

saient la réserve; ils sont dissous pour servir à l'accroissement des membranes de l'embryon.

Dans le second groupe de cotylédons distingués plus haut, les phénomènes qui ont lieu à l'intérieur des cellules montrent une beaucoup plus grande complication. Chez tous, deux phases différentes se succèdent : la dissolution des grains d'aleurone et la naissance d'amidon secondaire. En outre, chez tous ceux qui appartiennent au groupe des foliacés, des grains de chlorophylle se produisent ensuite, et fonctionnent comme d'habitude. Nous allons étudier la manière d'être de ces trois sortes de corps figurés.

Dissolution des grains d'aleurone. — La dissolution de l'aleurone est le premier phénomène qui marque histologiquement le commencement de la germination. Les grains d'aleurone, petits, punctiformes, qui remplissent les cellules épidermiques et les éléments allongés des cordons procambiaux, disparaissent rapidement sans qu'on remarque dans leur masse aucune trace de corrosion; ils sont donc dissous également par toute leur surface.

Les grains d'aleurone plus volumineux qui se rencontrent dans les parenchymes présentent un mode de régression différent; ils sont toujours altérés par places, à peu près comme les grains d'amidon soumis au mode de dissolution locale. Je ne m'occuperai ici que de la destruction de la masse fondamentale du grain, la mise en liberté des enclaves et leur mode de dissolution étant bien connus, d'après les travaux de Gris et surtout de M. Pfeffer.

En général, dès les premiers jours de la mise en germination, les grains d'aleurone présentent des taches plus sombres distribuées inégalement; ce sont des endroits où la substance commence à se dissoudre et où présentant, dès lors, une moins grande densité, elle est aussi moins réfringente. Plus tard, ces places deviennent vides et le grain d'aleurone est creusé d'un grand nombre de petites cavités (pl. 6, fig. 69, *a*, 76, *a*). Cette altération se produisant aussi bien à la périphérie du grain que dans son intérieur, il en résulte que sa surface

devient souvent inégale et bosselée (fig. 76). Ces cavités s'agrandissent et se multiplient, elles se rejoignent entre elles, et de la sorte le grain d'aleurone est déchiqueté en petits fragments irréguliers et anguleux (pl. 6, fig. 69, *c*). Ces fragments subissent les mêmes actions que le grain total; ils se découpent eux-mêmes, et, finalement, il ne reste plus du grain d'aleurone que des débris informes, extrêmement ténus, qui ressemblent à une fine poussière. Puis ces granules disparaissent et il ne reste plus rien du grain aleurique. Tel est le mode général. On y distingue plusieurs cas particuliers : le grain d'aleurone peut être attaqué dans toute son étendue, mais souvent sa couche périphérique est respectée, et demeure comme un anneau après la dissolution de la partie centrale (pl. 6, fig. 69, *c*, *d*, *d'*). Cet anneau se brise à son tour et ses fragments ont le même sort que les fragments du grain total (pl. 6, fig. 70). Enfin il peut arriver qu'une des lacunes que nous venons de voir se former s'agrandisse plus que les autres et envahisse totalement le grain d'aleurone (pl. 6, fig. 69 et 76). En même temps, les petites cavités se comportent comme ci-dessus et le grain d'aleurone est dissous à la fois par l'action habituelle des petites lacunes et par celle de la grande. Dans certains cas, la grande lacune est placée tout à fait extérieurement par rapport au grain (fig. 76, *b*, *c*, *e*); d'autres fois, elle est intérieure, mais excentrique, et respecte toujours la couche périphérique du grain (fig. 76, *b'*, *c'*, *d'*, *d*).

Ce mode de dissolution des grains d'aleurone me paraît général; je l'ai observé dans toutes les graines que j'ai fait germer (*Coulteria tinctoria*, *Arachis hypogæa*, *Trigonella Fœnum-græcum*, *Citrus Aurantium*, *Schotia latifolia*, *Sterculia platanifolia*, *Amygdalus communis*, *Pinus halepensis*, *Casuarina quadrivalvis*, etc.).

Il est important de faire remarquer que la chute des grains d'aleurone en petits fragments n'a pas lieu d'après les procédés réguliers qui président à la division des corps qui doivent continuer à fonctionner, tels que le noyau cellulaire; c'est une véritable régression, celle qui convient à un organite

qui a cessé de vivre, et qui n'est plus utile à la plante que par les substances chimiques qu'il lui fournit.

Amidon secondaire. — Examinons maintenant la seconde formation figurée qui apparaît dans le cotylédon aleurique en germination. La naissance des grains d'amidon secondaire coïncide toujours avec la fin de la destruction des grains d'aleurone; c'est lorsque les cellules ne contiennent plus que quelques granulations protéiques, derniers débris du grain aleurique, que l'on voit apparaître les premières traces d'amidon. Ce moment est aussi à considérer quant à l'évolution des tissus. Toutes les modifications qui se produisent dans la trame cotylédonaire pendant la germination apparaissent en même temps que les premiers grains d'amidon. Ainsi, chez les cotylédons dont l'épiderme ou le parenchyme multiplient leurs cellules, les premières traces de division concordent avec la naissance de l'amidon; dans les cotylédons nombreux où les nervures sont à l'état procambial, les premières trachées se différencient à ce même moment.

Étant donnés les rapports de l'amidon secondaire avec le contenu des cellules et la forme des tissus, voyons comment il naît. Vers la fin de la destruction des grains d'aleurone, les cellules se remplissent tout à coup de corps globuleux, de nature albuminoïde, appliqués contre l'utricule protoplasmique; ce sont les leucites qui produiront les grains d'amidon. Ces corps ont été déjà signalés par Gris, qui en a méconnu, on le comprend, la valeur, et les a désignés comme un « substratum granuleux et azoté provenant de l'altération des grains d'aleurone (1) ». Ces leucites forment des grains d'amidon, tantôt à leur surface, comme dans le *Coulteria tinctoria*, tantôt dans leur masse, comme chez le *Schotia*. J'ai figuré (pl. 6, fig. 75) les leucites du *Schotia* à différents états. Ils se présentent comme des épaississements de l'utricule faisant saillie dans la cavité cellulaire; d'abord homogènes (*a* et *b*), ils contiennent bientôt de petits grains d'amidon isolés (*c* et *c'*), qui grandissent en se rapprochant l'un de l'autre, et finissent

(1) A. Gris, *Recherches sur la germination*, p. 105.

par occuper tout le leucite, dont la substance propre disparaît presque entièrement (*d* et *d'*).

A cette période, on trouve dans toutes les graines de nombreux grains d'amidon secondaire, presque toujours composés, appliqués contre la couche protoplasmique pariétale, et englobés dans les restes du leucite. Il est inutile d'entrer dans de plus longs détails sur la structure de ces grains composés, depuis longtemps connus.

A partir de ce moment, cet amidon se résorbe par dissolution égale ; la matière albuminoïde qui enveloppe les grains se rétracte, suit leur diminution de volume et, lorsque tout l'amidon a disparu, elle demeure comme un faible renflement de l'utricule protoplasmique. Le leucite, après avoir formé de l'amidon, a donc survécu, bien que dégradé, à la destruction de cette substance.

Lorsque le cotylédon contenait, à l'état de repos, des grains d'amidon mêlés aux grains d'aleurone (Haricot, Arachide, etc.), les premiers persistent jusqu'à la dissolution des grains de nouvelle formation. A un moment donné de la germination, la graine renferme donc de l'amidon de deux origines différentes. Quelques-uns des grains se sont formés avant la maturité de l'embryon et sont d'origine primaire; ils se reconnaissent, à simple vue, à leurs dimensions généralement considérables, et parce que le plus souvent ils sont simples. Les autres ont pris naissance pendant la germination et sont d'origine secondaire; on les distingue facilement des premiers en ce qu'ils sont presque toujours composés, et que chacun des grains partiels est beaucoup plus petit que les grains primaires. La dissolution de l'amidon, de quelque provenance qu'il soit, se fait en un seul temps. Dans les cotylédons épais, il en reste toujours une certaine quantité autour des faisceaux vasculaires, dans une couche de cellules que M. Sachs a appelée gaine amylifère.

Lorsque l'amidon secondaire se forme, le cotylédon encore renfermé dans ses enveloppes est incolore. Le leucite fonctionne donc à l'obscurité et sans chlorophylle; il n'assimile

pas et forme l'amidon aux dépens des substances mises en réserve dans la graine. Plus tard, le cotylédon verdit par dépôt de chlorophylle sur le protoplasma; cependant, comme le leucite ne forme pas de nouveaux grains d'amidon, qu'il ne renferme jamais que ceux qui s'y trouvaient tout d'abord, on doit admettre que ces corps, quoique imprégnés de chlorophylle, ne peuvent pas plus assimiler que lorsqu'ils étaient incolores. Ce sont ces leucites verts que M. Dehnecke a désignés avec raison sous le nom de *grains de chlorophylle non assimilants* (1).

Grains de chlorophylle. — Les grains d'amidon secondaire se retrouvent sans aucune exception pendant la germination de tous les cotylédons aleurifères. En outre, dans certains cotylédons, il se forme ensuite des grains de chlorophylle; tous les cotylédons foliacés sont dans ce cas, et aussi quelques cotylédons tuberculeux (*Lupinus albus*, *Thevetia neriifolia*).

Les grains de chlorophylle n'apparaissent que lorsque l'amidon a entièrement disparu des cellules. Les choses se passent comme il a été décrit ci-dessus, chez le cotylédon de *Quercus Mirbeckii*, et les figures données à ce propos peuvent servir ici (pl. 6, fig. 77-80). Le premier indice de la formation d'un grain de chlorophylle est un épaississement faible de l'utricule protoplasmique pariétale, de l'étendue d'un grain. L'épaississement augmente, proémine de plus en plus vers la cavité cellulaire et acquiert bientôt sa forme définitive. Nous avons déjà vu que la matière colorante se dépose dans le cotylédon avant la dissolution de l'amidon; elle préexiste donc à la naissance des grains de chlorophylle, et ceux-ci, dès leur naissance, sont colorés en vert. Arrivés à l'état adulte, ils se présentent donc sous la forme de renflements à peu près hémisphériques de l'enduit protoplasmique pariétal auquel ils demeurent adhérents; leur face plane est appliquée par conséquent contre la paroi cellulaire et leur face convexe est

(1) Carl Dehnecke, *Ueber nicht assimilirende Chlorophyllkörper*. Cöln, 1880.

tournée vers la cavité. Ils sont de nature albuminoïde, d'aspect homogène, et diffèrent des parties non épaissies de l'utricule par leur plus grande réfringence et par leur coloration verte plus intense.

Ce mode de naissance des grains de chlorophylle est le seul que j'aie remarqué chez les cotylédons; ces corps préexistent donc aux grains d'amidon qui se trouvent plus tard en eux, et comme le dit Sachs (1) : « Les enclaves d'amidon apparaissant plus tard n'ont absolument rien à faire avec la naissance des corps chlorophylliens; ils sont plutôt un produit de l'activité vitale de ces derniers. » Cependant MM. Haberland et Mikosch, dans les mémoires cités au chapitre de l'historique, admettent que pendant la germination de plusieurs graines, entre autres du Haricot, des grains de chlorophylle peuvent se former dans le cotylédon par un autre procédé. Les grains d'amidon préexistants s'enveloppent d'une couche de protoplasma; puis ils diminuent progressivement de volume et finissent par disparaître. Le protoplasma qui les enveloppait resté seul constitue alors un grain de chlorophylle. Ici le grain d'amidon préexiste et « joue un grand rôle dans la différenciation du plasma en grains de chlorophylle ».

Je n'ai jamais observé ce second mode de naissance des grains de chlorophylle, bien qu'ayant repris la germination de l'une des graines examinées par ces auteurs, le Haricot. J'ai toujours vu les grains d'amidon de seconde formation naître dans les renflements de l'enduit pariétal de protoplasma, en sorte qu'ils sont enveloppés de cette substance. Mais le protoplasma enveloppant et les grains d'amidon contenus grandissent ensemble et on ne peut pas dire que l'amidon formé d'abord s'entoure ensuite de plasma. En outre, l'amidon disparaît plus tard, il est vrai, mais la masse protéique dans laquelle il était enchâssé ne demeure pas sous forme de grains de chlorophylle, elle disparaît au contraire avec le grain d'amidon.

(1) Sachs, *Physiologie végétale* (traduction française, p. 343).

Il faudrait distinguer avec soin ces leucites verts des vrais grains de chlorophylle; il y a entre eux des différences profondes. Les premiers naissent dans tous les cotylédons aleurifères au commencement de la période germinative. Ils sont d'abord incolores et ne deviennent verts que plus tard. L'amidon se forme à leur intérieur, même à l'obscurité, ainsi que le reconnaissent eux-mêmes MM. Haberland et Mikosch; ils peuvent parcourir d'ailleurs toutes les phases de leur évolution sans que la plante soit exposée à la lumière. L'amidon ne se produit chez eux qu'une seule fois; les grains qu'ils renferment sont tous dus à la même néo-formation; ils augmentent d'abord, atteignent un maximum, puis se résorbent. Enfin, lorsque l'amidon se dissout, le leucite se contracte et finit par se confondre presque totalement avec la couche pariétale de protoplasma. Les seconds, au contraire, ne se produisent en général que chez les cotylédons foliacés, et toujours vers la fin de la germination, alors que la feuille embryonnaire est vidée de toutes ses réserves. Ils sont toujours verts et ont besoin pour produire de l'amidon d'être exposés à la lumière. Si on les place à l'obscurité, les grains amylacés qu'ils contenaient se détruisent, pour reparaître de nouveau si la lumière est rendue à la plante. Ils peuvent produire et dissoudre autant de fois de l'amidon qu'ils passent de la lumière à l'obscurité. Lorsque l'amidon qu'ils contenaient se dissout, ils demeurent avec les mêmes dimensions qu'ils avaient auparavant. Les premiers de ces corps n'assimilent donc pas et produisent l'amidon aux dépens des réserves de la graine; je les appellerai, comme M. Dehnecke, *grains de chlorophylle non assimilants;* les seconds fixent le carbone de l'atmosphère; ce sont de *vrais grains de chlorophylle.*

Maintenant que nous connaissons le mode de formation des grains de chlorophylle, il nous faut voir s'ils naissent par nouvelle formation aux dépens du protoplasma de la cellule, ou s'ils proviennent de la régénération ou de la division de leucites, incolores ou colorés, ayant existé antérieurement.

M. Schmitz (1) a démontré que chez les Algues une nouvelle formation de grains de chlorophylle aux dépens du plasma cellulaire n'a pas lieu, mais qu'ils naissent exclusivement l'un de l'autre par division. Les spores reçoivent de la plante mère des grains de chlorophylle qui produisent par division tous les grains de chlorophylle des plantes naissant d'elles. D'après quelques recherches, M. Schmitz pense qu'il en est probablement de même chez les plantes supérieures.

MM. Schimper et Meyer ont depuis repris sur les Phanérogames les travaux de M. Schmitz (2), et ils concluent de la même façon. La preuve que les corps chlorophylliens ou au moins leur masse fondamentale incolore, les leucites, ne naissent pas par différenciation du plasma, mais par division de formations semblables, serait fournie, dit M. Schimper, si l'on démontrait leur présence : 1° dans le sac embryonnaire, 2° dans l'œuf, 3° dans tous les méristèmes, 4° dans les semences, et aussi l'impossibilité de leur naissance par une autre voie que par la division. Il n'a pas été possible à M. Schimper d'arriver à une décision sur le premier et le deuxième point. Comme l'étude des méristèmes n'entre pas dans le cadre de mes recherches, je n'ai pas eu à répéter les observations de M. Schimper à ce sujet, et je ne puis les discuter. Je m'occuperai donc seulement de la naissance des leucites colorés ou incolores dans les cotylédons.

D'abord M. Schimper ne démontre nullement, ainsi qu'il le reconnaît lui-même, que les leucites qui se trouvent à un moment donné dans l'embryon existent déjà dans l'œuf, et proviennent par conséquent de la plante mère; ainsi il ne peut nier la néo-formation de ces leucites pendant l'évolution de l'embryon.

Ce point étant acquis qu'aucune relation entre les leucites

(1) Fr. Schmitz. *Die Chromatophoren der Algen*, Bonn. 1882.

(2) A. F. W. Schimper, *Ueber die Entwickelung der Chlorophyllkörner und Farbkörper* (*Bot. Zeit.*, 1883, p. 105). — Arthur Meyer, *Das Chlorophyllkorn in chemischer, morphologischer und biologischer Beziehung*. Leipzig, 1883.

de l'embryon et ceux de la plante mère n'a été établie, voyons comment dérivent, les uns des autres, les différents corps formateurs d'amidon qui se succèdent pendant la vie de l'embryon.

M. Schimper signale l'existence de chloroplastides ou de leucoplastides dans des embryons jeunes de Crucifères, Légumineuses, Géraniacées, *Linum*, *Helianthemum*, *Phaseolus*. « Dans les embryons où ces corps n'ont pas été trouvés, leur absence ne doit être qu'apparente, dit-il, et tient à la difficulté de l'observation; ils sont en effet mélangés aux grains d'aleurone, desquels aucune réaction caractéristique ne peut les distinguer. On ne peut souvent les reconnaître que parce que, pendant la germination, les grains d'aleurone disparaissent, tandis que les plastides persistent et, se colorant en vert, se transforment en grains de chlorophylle. Ces chloro ou leucoplastides ne sont en aucune façon détruits à la maturité de la graine, mais deviennent seulement plus petits; pendant la germination, ils augmenteraient de volume, se diviseraient et produiraient les plastides colorés ou incolores que l'on observe avec certitude à cette période de la vie de l'embryon. »

Voici le résultat de mes propres observations. Dans les cotylédons où il se produit de très bonne heure de l'amidon transitoire, il apparaît des leucites qui forment précisément les grains d'amidon; je suis donc d'accord ici avec M. Schimper. Mais, dans les graines mûres dont les cotylédons sont remplis d'aleurone (*Coulteria*, *Trigonella*, *Arachis*, *Ricinus*, etc.), je n'ai jamais observé de leucites parmi les grains aleuriques. D'ailleurs, reconnaître, parmi des grains d'aleurone, des plastides en ce qu'ils persistent et se colorent en vert pendant la germination, me paraît une méthode d'observation fort incertaine; car, s'il est impossible de distinguer ces corps pendant le repos de la graine, comment pourra-t-on les suivre pendant la germination et voir ce qu'ils deviennent? En outre, dès les premières phases du processus germinatif, tous les corps figurés de la cellule qui ne sont pas de l'ami-

don et qui peuvent ressembler à des leucites, se détruisent de la manière qui a été indiquée plus haut, et sans qu'il en subsiste aucun; ce sont donc tous des grains d'aleurone. On ne peut pas objecter que les leucites proviendraient de la destruction des grains d'aleurone, car on a vu ci-dessus que les fragments de ces grains se produisent par des procédés qui ne sont nullement ceux qui conviennent aux corps dont les fragments doivent continuer à vivre. Les grains d'aleurone se détruisent donc dans le sens propre du mot et il ne peut renaître d'eux aucun organite ayant une fonction propre. Il me semble résulter de ces faits qu'aucun leucite ne peut être démontré dans la graine à sa maturité et pendant les premiers temps de la germination.

Lorsque l'aleurone a presque complètement disparu, il se produit dans le cotylédon, comme on l'a déjà vu, une formation d'amidon secondaire plus ou moins abondante. Ces grains d'amidon naissent, nous l'avons indiqué à propos de l'étude spéciale de chaque graine et dans l'exposé des résultats généraux, par l'activité de leucites qui se forment aux dépens du protoplasma. D'après ce qui vient d'être dit, ces leucites seraient donc de nouvelle formation, car il est impossible de retrouver leurs ancêtres dans les états antérieurs du cotylédon, et encore plus de démontrer leur provenance de la plante mère.

Quant à la descendance des grains de chlorophylle qui succèdent à ces leucites, pendant la germination des cotylédons foliacés, voici ce que j'ai observé avec la plus grande attention chez le *Trigonella Fœnum-græcum*. L'amidon disparaissant des leucites, les débris de ces derniers corps demeurent comme une très légère élevure de l'utricule pariétale; ce sont ces élevures qui, s'épaississant de nouveau, reprennent leur volume primitif et constituent les grains de chlorophylle.

En résumé, il ressort de cette discussion qu'il n'est nullement démontré que les leucites qui se rencontrent dans les cotylédons à plusieurs époques de leur évolution, soient les descendants de ceux de la plante mère, ni qu'ils proviennent

les uns des autres; cependant les grains de chlorophylle qui apparaissent vers la fin de la germination de quelques graines ne seraient que les leucites antérieurs régénérés.

Albumen.

Pendant la germination, l'albumen ne suit pas le plus souvent l'extension du cotylédon et se gonfle à peine. Il est dissous par l'embryon au fur et à mesure que celui-ci grandit, et seulement à son contact (Maïs, Latanier, Dattier, etc.). L'albumen est donc dans ce cas passif. Chez le Ricin, au contraire, l'altération du contenu des cellules a lieu en même temps dans toute l'épaisseur de l'albumen; ce qui prouve qu'elle est due à l'activité propre du protoplasma et non à l'action du cotylédon. En outre, les cellules s'agrandissent et se déforment; leur plus grand diamètre était perpendiculaire à la surface, il lui devient parallèle, et de cette façon l'albumen peut suivre, au moins quelque temps, l'extension du cotylédon, auquel il reste adhérent. L'albumen est donc doué ici d'une vie propre. Mais la résorption de ses membranes est réservée au cotylédon, qui agit comme dans le cas des albumens inertes.

Même lorsque l'albumen est doué de vitalité pendant la germination, une différence essentielle le sépare du cotylédon. L'albumen en effet dissout ses réserves; mais là finit son existence, et il ne se forme jamais à l'intérieur de ses cellules de nouveaux corps figurés. Dans tous les cotylédons aleurifères, au contraire, il se produit toujours de l'amidon de nouvelle formation, et souvent des grains de chlorophylle. La germination du Ricin est ici un bel exemple à citer.

Relations entre la germination des cotylédons et celle de l'albumen.

Pendant la germination, l'albumen n'influence pas l'évolution des cotylédons. Ceux-ci, qu'ils soient privés d'albumen ou non, quelle que soit la nature chimique de ce dernier, se com-

portent exactement comme tous les cotylédons du groupe auquel ils appartiennent. Les transformations que subissent les cotylédons ne dépendent donc que de leur structure propre et du contenu de leurs cellules. C'est ainsi par exemple que le cotylédon tuberculeux du Maïs, qui contient de l'aleurone, de l'amidon, et de l'huile, et qui possède un albumen farineux, passe exactement par les mêmes phases que celui de l'Arachide, dépourvu d'albumen. De même, les cotylédons du Latanier, de l'Oranger, du Ricin, du Fenu-grec, du *Schotia*, du Haricot, qui tous contiennent de l'aleurone et sont dans des conditions bien différentes quant à l'albumen, subissent les mêmes transformations.

Gris avait déjà reconnu cette loi chez les cotylédons aleurifères, et comme il ne connaissait pas les cotylédons purement amylacés, il en avait fait une loi générale; mais elle n'est vraie que dans chacun des groupes de cotylédons.

CONCLUSIONS.

1° La connaissance de la forme externe et du contenu des cotylédons à l'état de maturité a une grande importance, car elle permet de décider, sauf quelques détails, quel a été le développement embryonnaire du cotylédon et quel sera son développement germinatif.

2° Il faut considérer séparément dans un cotylédon la trame tissulaire et le contenu des cellules ; ces deux éléments, bien qu'ayant entre eux certaines relations constantes, ne sont pas dans une dépendance absolue.

3° Au point de vue de leurs tissus, les cotylédons se divisent en deux groupes extrêmes, reliés par de nombreux intermédiaires : les cotylédons tuberculeux, caractérisés par un grand développement de leur parenchyme, qui demeure homogène, l'absence de stomates, leur nervation ordinairement sans anastomoses et peu abondante; les cotylédons foliacés, qui se reconnaissent à leur parenchyme mince, toujours différencié à

sa partie supérieure en une couche palissadique, leur nervation riche et abondamment ramifiée et anastomosée, aux stomates qui se rencontrent fréquemment dans leur épiderme.

Dans l'immense majorité des cas, les membranes sont cellulosiques; dans quelques cotylédons seulement (*Schotia*, *Tamarindus*, *Mucuna*, etc.), elles sont formées de granulose.

4° Pendant le développement embryonnaire, les cotylédons tuberculeux arrivent rapidement à leur nombre définitif de cellules; ils n'augmentent plus ensuite de volume que par l'accroissement des éléments déjà formés.

Les cotylédons foliacés, au contraire, s'accroissent par des divisions cellulaires jusqu'à une époque voisine de leur maturité. C'est pour cette raison que leurs cellules sont toujours beaucoup plus petites que celles des cotylédons tuberculeux.

5° Pendant la germination, les cotylédons tuberculeux ne font que se gonfler légèrement; leurs cellules ne se divisent pas. Les cotylédons foliacés se divisent pendant cette période en deux groupes : les uns s'étendent peu et ne sont le siège d'aucune division cellulaire; les autres au contraire, largement étalés et très minces, forment de nombreuses cellules nouvelles, aussi bien dans l'épiderme que dans le parenchyme.

6° Sous le rapport du contenu cellulaire, les cotylédons se rangent aussi en deux groupes : les uns ne renferment que de l'amidon; les autres contiennent toujours de l'aleurone soit pure, soit mêlée à l'amidon. La présence de l'aleurone coïncide avec une évolution du contenu des cellules entièrement différente de celle qui a lieu dans les cotylédons exclusivement amylacés.

7° Dans les cotylédons amylifères, l'évolution du contenu des cellules se présente avec une grande simplicité; l'amidon s'y forme de bonne heure, atteint son maximum d'abondance au moment de la maturité, et disparaît pendant la germination, sans qu'aucune autre formation figurée se produise ensuite.

Les cotylédons aleuriques comprennent deux sous-groupes; dans l'un, les grains d'aleurone se forment tout d'abord; dans

l'autre l'amidon se forme en premier lieu, puis seulement l'aleurone. Enfin cet amidon peut être transitoire et disparaître bien avant la maturité de la graine, ou persister jusqu'à cette période. La dissolution des grains d'aleurone est, chez ce groupe de cotylédons, le premier phénomène de la germination; il se produit ensuite de l'amidon secondaire qui disparaît à son tour. Enfin dans les cotylédons foliacés, des grains de chlorophylle succèdent à l'amidon dissous.

8° Certaines relations se remarquent entre la forme des tissus du cotylédon et le contenu de ses cellules. 1° Les cotylédons foliacés ne contiennent que de l'aleurone; 2° les cotylédons tuberculeux renferment le plus souvent un mélange de grains d'amidon et de grains d'aleurone; dans quelques cas, on y trouve cependant ou exclusivement de l'amidon ou exclusivement de l'aleurone.

Il suit de là qu'en tenant compte à la fois du contenu des cellules et de la trame cotylédonaire, considérant que l'évolution germinative est la même, que les cotylédons renferment de l'aleurone seule ou mêlée d'amidon, on peut diviser ces organes en trois groupes : 1° les cotylédons foliacés, toujours remplis d'aleurone; 2° les cotylédons tuberculeux à réserve aleurique; 3° les cotylédons tuberculeux à réserve exclusivement amylacée. En somme, il y aurait deux catégories entièrement distinctes de cotylédons : les foliacés, et les tuberculeux exclusivement amylifères. Entre les deux se place une catégorie intermédiaire, qui tient des premiers par la nature de sa réserve, et des seconds par sa forme externe et sa structure interne.

En outre, dans les cotylédons à réserve purement amylacée. les nervures contiennent, dès avant la maturité, du bois, du cambium et du liber; dans les autres au contraire, elles sont toujours au même stade, à l'état procambial, et ne se différencient que pendant la germination, au moment où apparaît l'amidon secondaire. Enfin les grains de chlorophylle se forment presque uniquement dans les cotylédons foliacés.

9° Jusqu'à l'état de maturité, les cotylédons ne sont jamais

recouverts de poils, et ils contiennent très rarement des appareils sécréteurs. Pendant la germination, les poils naissent sur la plupart des cotylédons de plantes velues; de même les glandes, les canaux sécréteurs, les laticifères, se forment à cette période dans les tissus cotylédonaires des plantes qui en contiennent dans d'autres organes.

10° Les grains d'amidon qui se forment aux différents stades de la vie du cotylédon sont produits par des leucites incolores ou verts, qui naissent par différenciation du protoplasma. Les grains de chlorophylle naissant à la fin de la germination dans les cotylédons foliacés, proviennent de la régénération des leucites formateurs de l'amidon secondaire. La descendance des autres plastides, de plastides ayant existé antérieurement, n'est pas démontrée. Les grains d'amidon disparaissent le plus souvent par dissolution égale.

11° Les grains d'aleurone se forment selon deux modes principaux : par production en masse à la surface de l'utricule pariétale, ou par des bâtonnets courbes qui se réunissent en anneau. Cet anneau n'a plus qu'à s'épaissir et à combler son ouverture pour constituer un grain d'aleurone.

Les grains d'aleurone se détruisent par un procédé analogue à la dissolution locale, connue chez les grains d'amidon.

12° L'épaisseur de l'albumen varie depuis celle d'une pellicule mince jusqu'à 2 et 3 centimètres. Les membranes peuvent être très minces ou acquérir une grande épaisseur (albumens cornés). Dans ce dernier cas, toute trace de cavité peut même disparaître (*Trigonella*).

13° Les cellules de l'albumen contiennent ou de l'amidon pur ou de l'aleurone pure; jamais le mélange des deux.

Les albumens amylacés ont toujours les membranes minces; chez les autres, elles s'épaississent plus ou moins.

14° On remarque, à l'état de maturité, entre les cotylédons et l'albumen les relations suivantes : 1° Les cotylédons qui renferment de l'amidon, soit seul, soit mêlé d'aleurone, ne sont jamais accompagnés d'albumen; 2° ceux, même tuberculeux,

qui ne contiennent que de l'aleurone peuvent posséder un albumen; dans ce cas, l'albumen est toujours mince; 3° d'autre part, les embryons à cotylédons foliacés ne sont pas nécessairement pourvus d'un albumen.

15° Dans l'amande des graines albuminées, on trouve toujours réunies des réserves ternaires et des réserves quaternaires. Lorsque le cotylédon ne contient que de l'aleurone, sans huile, de la matière ternaire est toujours fournie par l'albumen.

16° Dans l'amande des graines exalbuminées, par contre, on peut trouver des réserves ternaires seules (cotylédons à réserve purement amylacée); mais toujours les réserves quaternaires sont accompagnées de substances ternaires.

17° Chez les cotylédons, les réserves consistent en cellulose et en granulose déposées sur les membranes; en huile, amidon et aleurone contenus dans les cellules.

Les réserves déposées dans l'albumen n'en diffèrent que par la présence assez fréquente de gélose, substance qui manque aux cotylédons.

18° Pendant la germination, la plupart des albumens se montrent passifs et sont dissous par le cotylédon (Maïs, Palmiers, etc.). Quelques-uns sont doués de vitalité; ils s'étentendent, déforment leurs cellules et en digèrent le contenu (Ricin). La résorption des membranes est réservée à l'embryon.

19° La germination de l'albumen diffère essentiellement de celle du cotylédon en ce que, dans l'albumen, une fois les réserves figurées dissoutes, il ne se produit plus d'organites nouveaux ; tandis que chez les cotylédons, il peut se former de l'amidon de seconde formation et des grains de chlorophylle.

20° La présence ou l'absence d'albumen, la nature chimique de ce dernier, n'influent en rien sur l'évolution germinative du cotylédon. Celui-ci se comporte pendant cette période comme les cotylédons du groupe auquel il appartient, c'est-à-dire d'après la forme de ses tissus et le contenu propre de ses cellules.

EXPLICATION DES PLANCHES.

Les nombres placés entre parenthèses indiquent le grossissement linéaire.

PLANCHE 1.

Figures 1-7. Épiderme du cotylédon du Marronnier.

Fig. 1. Épiderme inférieur du cotylédon du Marronnier, à la maturité.
Fig. 2. Le même épiderme vers la fin de la germination.
Fig. 3. Coupe de cet épiderme perpendiculaire à la surface.
Fig. 4. Épiderme supérieur, à la maturité.
Fig. 5. Épiderme inférieur pendant le développement.
Fig. 6. Épiderme supérieur, à la même époque.
Fig. 7. Coupe de l'épiderme supérieur perpendiculaire à la surface (état de maturité).

Figure 8. Épiderme du cotylédon du *Trigonella Fœnum-græcum* (700).

Fig. 8. Épiderme supérieur du cotylédon du *Trigonella Fœnum-græcum* à la maturité.

Figures 9-10. Épiderme du cotylédon de l'*Eriobotrya japonica* (300).

Fig. 9. Épiderme du cotylédon de l'*Eriobotrya japonica*, à la maturité.
Fig. 10. Épiderme inférieur du même cotylédon, pendant la germination.

Figures 11-12. Épiderme du cotylédon jeune du *Linum usitatissimum* (315).

Fig. 11. Une cloison oblique détache, dans une cellule épidermique, la cellule initiale du stomate (*i*).
Fig. 12. La formation des stomates est plus avancée : quelques cellules initiales (*a*) ont produit les deux cellules accessoires et la cellule mère; dans d'autres (*b*), la cellule mère est déjà divisée en les deux cellules de bordure.

Figures 13-15. Développement des stomates sur le cotylédon du *Coulteria tinctoria* (700).

Fig. 13. Une cloison oblique détache dans une cellule épidermique la cellule mère du stomate (*a*).
Fig. 14. L'ensemble des deux cellules filles précédentes se spécialise parmi les autres cellules épidermiques (*f*).
Fig. 15. La cellule mère a formé (en *a*) deux cellules de bordure; en *b*, ces deux cellules ont pris leur forme définitive.

PLANCHE 2.

Figure 16. *Lupinus albus.*

Fig. 16. Fragment d'une coupe transversale dans le cotylédon du *Lupinus albus*, en pleine germination (35).

Figure 17. *Schotia latifolia.*

Fig. 17. Coupe transversale à la face supérieure du cotylédon du *Schotia latifolia*, à l'état de maturité (145).

Figure 18. *Arachis hypogæa.*

Fig. 18. Coupe transversale à la face supérieure du cotylédon de l'*Arachis hypogæa*, à la maturité (60).

Figures 19-20. Figures schématiques du parenchyme cotylédonaire de l'*Erythrina crista-galli*, à la maturité (155).

Fig. 19. Dans la graine sèche les méats sont globuleux et font saillie dans les cellules, ce qui rend le tissu lacuneux.

Fig. 20. Même groupe de cellules dans la graine mouillée. Les méats ont repris leur forme habituelle.

Figure 21. *Latania borbonica.*

Fig. 21. Albumen du *Latania borbonica* (155).

Figures 22-29. Nervation du cotylédon du *Latania borbonica.* (22 et 23 à l'état de maturité; 24-29 pendant la germination.)

Fig. 22. Coupe longitudinale médiane de l'embryon montrant la course des nervures (20).

Fig. 23. Coupe transversale moyenne de l'embryon pour faire voir la distribution des nervures (20).

Fig. 24. Coupe transversale au niveau de la gaine cotylédonaire, dans l'embryon germé (4).

Fig. 25. L'axe feuillé commence à faire saillie (4).

Fig. 26. L'axe feuillé est près de quitter l'axe du cotylédon et n'est plus entouré que par un étui parenchymateux (4).

Fig. 27. La séparation de l'axe feuillé et du cotylédon est complète (4).

Fig. 28. Nervation de la tête cotylédonaire, sur une coupe épaisse longitudinale, à la fin de la germination (1 1/2).

Fig. 29. Course des nervures dans la même partie, vue de dessus (2 1/2).

Figure 30. *Erythrina crista-galli.*

Fig. 30. Coupe transversale du cotylédon de l'*Erythrina crista-galli*, pour faire voir la disposition des nervures (4).

Figure 31. *Arachis hypogæa.*

Fig. 31. Coupe transversale du cotylédon de l'Arachide, pour montrer la disposition des nervures (3).

Figure 32. *Eriobotrya japonica.*

Fig. 32. Coupe transversale du cotylédon de l'*Eriobotrya japonica*, pour faire voir la disposition des nervures (2).

Figure 33. *Prunus Cerasus.*

Fig. 33. Coupe tranversale du cotylédon du Cerisier, pour montrer la disposition des nervures (6).

Figure 34. *Acer platanoides.*

Fig. 34. Épiderme du cotylédon de l'*Acer platanoides*, pendant la germination.

PLANCHE 3.

Figure 35. Albumen du *Trigonella Fœnum-græcum.*

Fig. 35. Albumen de *Trigonella Fœnum-græcum*, à la maturité de la graine, gonflé par l'eau (20).

Figures 36-41. Développement de la nervation chez le *Coulteria tinctoria.*

Fig. 36-37. A l'état jeune; 36 vue de face, 37 en coupe transversale.
Fig. 38-39. A un état plus âgé; 38 vue de face, 39 en coupe transversale.
Fig. 40-41. Coupes transversales de cotylédons de plus en plus âgés (10).

Figure 42. *Eriobotrya japonica.*

Fig. 42. Nervation du cotylédon de l'*Eriobotrya japonica* (1 1/2).

Figure 43. *Latania borbonica.*

Fig. 43. Coupe tranversale d'un faisceau libéro-ligneux du *Latania borbonica* au commencement de la germination (450).

Figure 44. *Sterculia platanifolia.*

Fig. 44. Nervation du cotylédon du *Sterculia platanifolia* (12).

Figures 45-46. Nervation du cotylédon de l'*Arachis hypogæa* (3).

Fig. 45. Vue de face.
Fig. 46. Sur une coupe longitudinale épaisse.

Figure 47. *Amygdalus communis.*

Fig. 47. Nervation du cotylédon d'*Amygdalus communis*

Figure 48. *Hedera Helix.*

Fig. 48. Nervation du cotylédon de l'*Hedera Helix*, pendant la germination (2).

PLANCHE 4.

Figures 49-50. Nervation du cotylédon du *Schotia latifolia* (4 1/2).

Fig. 49. Vue de face.
Fig. 50. Sur une coupe transversale du cotylédon.

Figure 51. *Citrus Aurantium.*

Fig. 51. Nervation du grand cotylédon du *Citrus Aurantium* (4).

Figure 52. *Casuarina quadrivalvis.*

Fig. 52. Nervation du cotylédon du *Casuarina quadrivalvis* (10).

Figure 53. *Ulmus.*

Fig. 53. Nervation du cotylédon de l'Orme (8).

Figure 54. *Quercus Mirbeckii.*

Fig. 54. Nervation du cotylédon du *Quercus Mirbeckii* (1 1/2).

Figure 55. *Acer platanoides.*

Fig. 55. Nervation du cotylédon de l'*Acer platanoides* (3).

PLANCHE 5.

Figures 56-57. Nervation du cotylédon de l'*Æsculus Hippocastanum.*

Fig. 56. Pendant le développement (4).
Fig. 57. A la maturité (6).

Figure 58. *Acer platanoides.*

Fig. 58. Coupe transversale de la nervure médiane de l'*Acer platanoides* à la fin de la germination (250).

Figure 59. *Laurus tomentosa.*

Fig. 59. Nervation du cotylédon du *Laurus tomentosa.*

Figure 60. *Fagus sylvatica.*

Fig. 60. Nervation du cotylédon du *Fagus sylvatica* (1 1/2).

Figure 61. *Hedera Helix.*

Fig. 61. Coupe tranversale de la nervure médiane du cotylédon de l'*Hedera Helix* à la fin de la germination (275).

Figure 62. *Latania borbonica.*

Fig. 62. Coupe transversale d'une des nervures du cotylédon du *Latania borbonica*, à la fin de la germination (300).

PLANCHE 6.

Figures 63-68. Naissance des grains d'aleurone dans le cotylédon de la Trigonelle (850).

Fig. 63. Une cellule du cotylédon de la Trigonelle contenant des grains d'amidon et de petits bâtonnets.
Fig. 64. État plus avancé : Les grains d'amidon sont devenus moins nombreux et plus petits, les bâtonnets commencent à former des couronnes.
Fig. 65. L'amidon a entièrement disparu. L'utricule pariétale est complètement revêtue d'anneaux d'aleurone.
Fig. 66. Les grains d'aleurone sont formés, à l'exception de quelques-uns, où il existe encore une ouverture excentrique.
Fig. 67. Phases diverses de la formation d'un anneau.
Fig. 68. Formation d'un grain d'aleurone au moyen d'un bâtonnet en arc.

Figure 69. *Trigonella Fœnum-græcum.*

Fig. 69. Dissolution des grains d'aleurone dans le cotylédon du *Trigonella Fœnum-græcum.*
a, b, c. Dissolution du grain d'aleurone par formation de cavités réparties également dans sa masse.
En *b', c', d, d'*, outre les cavités ci-dessus, il se produit un vide périphérique qui grandit jusqu'à envahir le grain tout entier.

Figure 70. *Schotia latifolia.*

Fig. 70. Dissolution des grains d'aleurone dans le cotylédon du *Schotia lati folia* (850).

Figure 71. Cotylédon de l'*Acer platanoides.*

Fig. 71. Engloblement d'un cristal d'oxalate de chaux, dans un grain d'aleurone. — États successifs (850).

Figures 72-73. *Æsculus Hippocastanum.*

Fig. 72. Une cellule d'un cotylédon jeune de l'*Æsculus Hippocastanum* dont le protoplasma a été contracté. — Les grains d'amidon, encore petits, sont appliqués contre l'utricule primordiale et espacés entre eux (700).
Fig. 73. Une cellule du même cotylédon un peu plus âgé. — Les grains d'amidon, plus grands que précédemment, sont arrivés à se toucher (700).

Figures 74-75. *Schotia latifol a.*

Fig. 74. Une cellule du cotylédon du *Schotia latifolia*, montrant le réseau protoplasmique et des bâtonnets dans les mailles de ce réseau (700).

Fig. 75. Leucites développés pendant la germination du *Schotia latifolia* : *a* et *b* encore sans amidon ; *c* et *c'* avec de petits grains d'amidon ; *d* et *d'*, les grains d'amidon devenus gros remplissent le leucite (720)

Figure 76. *Arachis hypogæa.*

Fig. 76. Dissolution des grains d'aleurone dans le cotylédon de '*Arachis hypogæa* (1300).

Figures 77-80. Formation des grains de chlorophylle, pendant la germination du *Quercus Mirbeckii.*

Fig. 77. Naissance des grains de chlorophylle.

Fig. 78. Grains de chlorophylle plus avancés.

Fig. 79. Grains de chlorophylle remplis d'amidon.

Fig. 80. Les mêmes vus de face et supposés détachés de la cellule (1300).

Figure 81. *Arachis hypogæa.*

Fig. 81. Corps de nature albuminoïde observés pendant la germination de l'Arachide (700).

RECHERCHES

SUR LE

MOUVEMENT DE LA SÈVE ASCENDANTE

Par M. Julien VESQUE.

I

DE L'INFLUENCE DE LA PRESSION EXTÉRIEURE SUR L'ABSORPTION DE L'EAU PAR LES RACINES.

Il y a quelques années, lorsque je publiai une série de mémoires sur l'absorption de l'eau par les racines (1), j'avais l'intention de joindre à ces recherches une étude de l'influence de la pression extérieure sur la pénétration de l'eau du sol dans les tissus de la racine.

Mais, dès le début de ces expériences, je me heurtai à des difficultés qu'il me semblait alors bien difficile de surmonter. Je me résignai d'autant plus facilement à abandonner momentanément ce sujet, qu'il ne me paraissait présenter qu'un intérêt médiocre. Depuis cette époque, la discussion savante sur la sève ascendante a pris une tournure telle que l'intervention de la pression extérieure, c'est-à-dire éventuellement de la pression atmosphérique, dans l'absorption de l'eau par la plante, et indirectement dans l'ascension de la sève et même dans la transpiration, est devenue un des sujets d'études qui promettent les résultats les plus importants au point de vue de la théorie et même, ainsi qu'on le verra plus loin, au point de vue de la pratique.

Le procédé que j'avais anciennement adopté était fort simple, et quoique l'appareil ait été disposé uniquement pour

(1) *Ann. sc. nat.*, 6e série, t. IV, VI, IX.

les pressions inférieures à l'atmosphère, il est clair que des modifications très légères auraient permis de l'adapter aux pressions plus fortes.

Voici en quoi il consiste :

La plante (Fève, Lierre ou Laurier-rose) enracinée dans l'eau, est hermétiquement mastiquée dans un tube en verre d'un diamètre de 2 à 3 centimètres et long de 10 à 12 centimètres, ou dans une petite allonge, terminés à leur partie inférieure par un long tube vertical d'un diamètre intérieur de 1 à 2 millimètres. Comme il est fort difficile de trouver un de ces tubes qui ait un diamètre constant, on s'est borné à le diviser en millimètres de longueur et on y introduisit ensuite un index de mercure qu'on faisait glisser dans le tube en notant la longueur qu'il occupait dans toutes les parties. Ceci fait, et l'index de mercure étant pesé, il était facile de dresser un tableau indiquant les volumes compris entre les divisions millimétriques.

Cet appareil est fixé verticalement, exactement rempli d'eau ou d'une solution nourricière normale, et l'extrémité du tube gradué plonge dans un petit godet contenant du mercure.

A mesure que la plante absorbe de l'eau, le mercure monte dans le tube, de sorte que la pression exercée sur les racines varie constamment. Il suffit de lire à des intervalles égaux la position du ménisque de mercure pour savoir à la fois la quantité d'eau que la plante a absorbée en une minute et la pression extérieure à laquelle cette absorption a eu lieu. H étant la pression atmosphérique, h la hauteur de la colonne d'eau comprise entre le collet de la racine ou le niveau moyen de l'insertion des racines et le ménisque mercuriel, et divisée par la densité du mercure ; p enfin la colonne de mercure soulevée dans le tube, cette pression est

$$H - (h + p).$$

Malheureusement, aussitôt que le mercure était monté à une faible hauteur dans le tube gradué, l'air des méats inter-

cellulaires s'échappait soit par les lenticelles (Lierre), soit entre les lèvres qui embrassent la base des radicelles.

Je n'eus pas la patience, étant donnée la faible importance du sujet, de cultiver des plantes qui ne présentassent pas cet inconvénient.

Ce n'est qu'à la suite du dernier travail de M. Hartig (1) que je me décidai à reprendre ce même sujet.

On sait que M. Bœhm considère l'osmose comme une force, à la vérité très puissante quant aux pressions qu'elle peut produire à l'intérieur des cellules, mais très lente quant à ses effets, et qu'il estime d'une manière générale que l'osmose n'est pas capable de fournir à la plante les grandes quantités d'eau qui traversent ses organes.

Dans les conditions ordinaires, et notamment lorsque toutes les parties de la plante sont soumises à la même température, la pression de l'air contenu dans les éléments actifs du bois s'accroît de haut en bas. Si, malgré cela, elle est inférieure à l'atmosphère dans le bois des racines, nous aurons en dernière analyse un système composé d'une atmosphère confinée à une pression inférieure à la pression atmosphérique et séparée de l'atmosphère libre par une masse de tissus perméables à l'eau.

Il est impossible de ne pas admettre que l'eau du sol est poussée dans la racine par un effort égal à la différence des pressions extérieure et intérieure.

S'il est vrai que l'osmose agit très lentement, il est évident que la pression atmosphérique doit jouer un rôle considérable dans le phénomène que nous étudions (2).

(1) R. Hartig (*Ueber die Wasserbewegung in den Pflanzen*, *Bot. Zeit.*, 1853, col. 250).

(2) Remarquons qu'il est toujours très difficile de comprendre par quel procédé l'osmose peut faire pénétrer de grandes quantités d'eau dans le corps ligneux, étant donné, la minime quantité de matières solides que renferme la sève ascendante. On conçoit fort bien pourquoi l'eau pénètre dans les cellules du périblème, dans les poils radicaux, dans le liber, mais il s'agit de savoir comment elle peut se déverser dans les éléments ligneux, beaucoup moins riches que les premières en matières osmotiquement actives.

Voyez à ce sujet le Traité de chimie agricole de M. Adolphe Mayer.

M. R. Hartig croit au contraire que la cause prédominante de l'absorption de l'eau réside dans l'osmose, car, dit-il, elle dépend en première ligne de la température du sol et de l'état de végétation des radicelles.

Quant à l'ascension de l'eau dans le corps ligneux, elle est due aux différences de pression qui agissent dans les éléments superposés; l'osmose a pour effet d'augmenter la pression qui règne dans le bois des parties inférieures, et par conséquent d'exagérer la différence de pression au sommet et à la base de l'arbre.

Nous assistons donc à la concurrence de deux forces, la pression atmosphérique et l'osmose, agissant dans le même sens.

Il nous sera permis de décomposer cette double action par un procédé familier aux physiciens, en faisant agir par la pensée alternativement, et pendant des temps infiniment courts, l'osmose et la pression atmosphérique; la première comprime l'air dans le bois; la seconde force, c'est-à-dire la différence entre la pression atmosphérique et la pression intérieure, s'en trouve diminuée, et ainsi de suite, de sorte que, si l'osmose est telle que la pression intérieure égale ou dépasse l'atmosphère, l'effet de la pression atmosphérique s'annule ou change de sens, en même temps que de l'eau peut s'échapper par les exutoires naturels dont la plante est pourvue ou par des plaies artificielles.

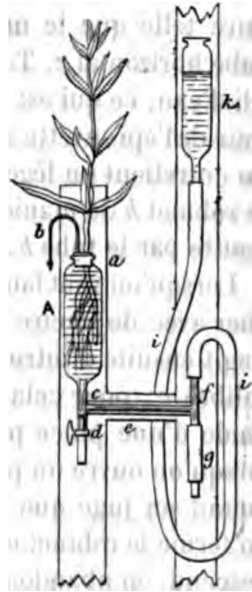
D'après tout ceci, il y a lieu d'évaluer comparativement les effets quantitatifs de l'osmose et de la pression. Ces effets ne pouvant pas être séparés pratiquement sur une plante intacte, je me bornerai à rechercher ce qui se passe lorsqu'on augmente ou qu'on diminue la pression extérieure.

Description de l'appareil employé. — J'ai modifié la disposition primitive de l'appareil afin de pouvoir satisfaire aux exigences suivantes :

1° La pression doit être invariable pendant le temps qui s'écoule entre deux lectures.

2° On doit pouvoir faire varier la pression à volonté, afin d'intercaler une expérience à basse pression entre deux expériences à pression plus forte et réciproquement, de sorte que les expériences se contrôlent les unes les autres.

La figure ci-contre reproduit fidèlement tous les organes de l'appareil, mais j'ai été obligé de le représenter plus court qu'il n'est en réalité. Sa hauteur totale est de 1m,45, l'éprouvette A ne mesurant que 12 centimètres de longueur.



La tige d'une plante élevée dans une solution nourricière est mastiquée dans le bouchon en caoutchouc *a*, qui porte en outre un tube recourbé *b* ouvert aux deux bouts et effilé à son extrémité libre. L'éprouvette A, destinée à recevoir les racines de la plante, se termine à sa base par un tube à robinet *d*, sur lequel s'embranche le tube horizontal *c*. Entre le tube *c* et le tube à trois branches *f*, est intercalé un tube en cristal d'un diamètre intérieur beaucoup plus faible, ne dépassant pas 1 millimètre. Ce petit tube, qui est la partie principale de l'appareil, est parfaitement calibré et appliqué horizontalement sur une échelle millimétrique. Il n'est pas jaugé, de sorte que les quantités d'air absorbé ne sont que des quantités relatives, ce qui est parfaitement indifférent pour le sujet qui nous occupe. Tous les joints, entre les tubes *c*, *e* et *f*, sont des soudures. La branche inférieure du tube *f* porte un tube de caoutchouc de 9 centimètres de longueur, fermé en bas par un bouchon de verre; la branche supérieure communique par un robinet non reproduit sur le dessin et par un long tube en caoutchouc avec l'allonge *k*, qui peut être accrochée à des hauteurs variables à des clous plantés d'avance à la face postérieure du bâti.

Une échelle centimétrique est appliquée sur la tranche de la longue tige verticale du bâti, et sert ainsi à mesurer la hauteur de la colonne d'eau qu'on ajoute à la pression atmosphérique ou qu'on en retranche. Le zéro de cette échelle correspond, un peu arbitrairement, mais faute de mieux, à l'insertion de la radicelle ou de la racine adventive la plus élevée.

On verse dans le tube en caoutchouc *g* une quantité de mercure telle que le ménisque affleure à l'embranchement du tube horizontal *e*. Tout l'appareil est ensuite exactement rempli d'eau, ce qui est facile grâce au tube *b* qui laisse échapper l'air de l'éprouvette A. On ferme le robinet *a*. A l'état de repos, on entretient un léger courant d'eau dans l'appareil en réglant le robinet *h* de manière que l'eau s'écoule lentement goutte à goutte par le tube *b*.

Lorsqu'on veut faire une expérience, on commence par boucher avec de la cire à cacheter la pointe effilée du tube *b*. Il s'agit ensuite d'introduire un index de mercure dans le tube calibré *c*; pour cela, on comprime le tube en caoutchouc *g* à l'aide d'une pince plate; le mercure monte dans le tube *f*, et lorsqu'on ouvre un peu le robinet *d*, il s'engage dans le tube *e*; quand on juge que la colonne de mercure est assez longue, on ferme le robinet *d*, on enlève la pince; aussitôt le mercure descend, en abandonnant dans le tube *e* un index dont on parvient, avec un peu d'adresse, à régler très exactement la longueur. Le robinet supérieur étant largement ouvert, les racines de la plante sont soumises à une pression qu'on fait varier à volonté en accrochant à différentes hauteurs l'allonge *k*. Les déplacements de l'index dans le tube *e* expriment la quantité relative d'eau absorbée par la plante.

CAUSES D'ERREUR. — 1° *Le masticage de la plante.* — Le bouchon *a* doit clore avec une perfection absolue et résister sans se déplacer aux plus fortes pressions qu'on a l'intention de faire agir. Il est fendu longitudinalement jusqu'au trou qui doit recevoir la plante; la surface interne de ce trou, ainsi que les surfaces de section, sont enduites d'une couche de cire à

modeler qu'on pétrit fortement sur place, de manière à chasser jusqu'aux dernières traces de l'air adhérent; la partie de la tige qu'on veut mastiquer est traitée de la même manière, puis logée dans le trou. Ceci fait, on enduit d'une petite quantité de cire la partie inférieure du bouchon qui doit être engagée dans l'éprouvette et on met le bouchon en place. Si l'opération réussit bien, la cire fait miroir sous le verre. Le bouchon est fixé au verre à l'aide d'un joint de cire à cacheter, et ensuite entièrement enduit de cire molle qu'on lisse à l'aide d'un fer chaud. Dans ces conditions, la moindre trace d'eau qui viendrait à perler à travers le bouchon serait immédiatement visible. On peut recouvrir le tout d'une couche de vernis à l'alcool, sans perdre l'avantage d'apercevoir les fuites, car l'eau donne de suite naissance, dans l'épaisseur du vernis incolore, à un précipité blanc très apparent sur le fond coloré de la cire.

Ces précautions, longues et minutieuses, sont indispensables, car la moindre fuite agirait dans le même sens que la pression et infirmerait complètement les résultats de l'expérience.

2° *La pénétration de l'eau dans les méats intercellulaires.* — Lorsqu'on soumet les racines d'une plante à une pression inférieure à l'atmosphère, il arrive très fréquemment que de petites bulles d'air s'échappent, surtout de l'insertion des racines secondaires; cet air provient des méats intercellulaires du périblème. C'est là un inconvénient qu'il est à peine possible d'éviter lorsqu'on opère sur des plantes herbacées. Dans les plantes ligneuses longtemps cultivées dans l'eau, les ouvertures ne tardent pas à se boucher, probablement par la formation d'un tissu cicatriciel. Il faut donc renoncer à faire sur les plantes herbacées des expériences à une pression inférieure à l'atmosphère. Mais une autre difficulté se présente. Si l'air s'échappe si facilement des méats intercellulaires, ne peut-on pas craindre qu'à une pression supérieure à l'atmosphère l'eau n'y pénètre avec une facilité presque égale?

Pour répondre à cette objection, il fallait avoir recours à l'expérience.

Une Fève, pourvue de plusieurs feuilles bien développées, étant fixée dans l'appareil, on a établi une pression de H — 1 centimètre d'eau : aussitôt de nombreuses bulles d'air ont perlé à la naissance des racines secondaires. On a élevé ensuite l'éprouvette *K* de manière à exercer sur les racines une pression de H + 15 centimètres, et on a laissé la plante dans cet état pendant plusieurs minutes. L'éprouvette *K* étant de nouveau redescendue à 1 centimètre au-dessous de zéro de l'échelle, les bulles se sont reformées aussitôt, au moment précis où la pression est devenue inférieure à l'atmosphère.

Si, pendant la période de forte pression, de l'eau avait pénétré dans les méats, elle aurait dû ressortir avant le dégagement des gaz; or il n'en a pas été ainsi; celui-ci a recommencé aussitôt que la pression s'est abaissée au-dessous de l'atmosphère. Il faut donc admettre que l'eau pénètre bien plus difficilement dans les méats que l'air ne s'en échappe.

Malgré l'heureux résultat de cette expérience préliminaire, j'avoue que j'aurais hésité à considérer l'effet de la pression sur l'absorption comme un fait bien établi, si les plantes herbacées n'avaient pas été précisément les moins sensibles à cet égard.

Les plantes ligneuses donnant des résultats beaucoup plus nets que les herbes, il est impossible de s'arrêter un seul instant à cette cause d'erreur.

3° *Les fluctuations de la température, de l'état hygrométrique de l'air et de l'intensité de l'éclairage.* — Toutes ces causes d'erreur sont évitées d'un seul coup par la rapidité extrême des expériences, dont chacune n'a duré qu'une ou quelques minutes. Le plus souvent ces recherches ont été favorisées soit par un ciel uniformément couvert, soit par un ciel clair, de sorte que les variations étaient très lentes. Même dans le cas d'un ciel couvert de cumulus, l'irrégularité de l'éclairage

ne pouvait guère m'induire en erreur, parce que les essais sous forte pression et sous pression faible alternaient et que l'influence de la pression pouvait toujours être appréciée au moins qualitativement.

EXPÉRIENCES

A. — *Plante ligneuse.*

Une belle bouture de Laurier-rose (*Nerium Oleander*), depuis longtemps enracinée dans l'eau, portant huit feuilles très grandes et une pousse terminale garnie de quinze jeunes feuilles, est mastiquée dans l'appareil.

On a marqué l'heure chaque fois que l'index de mercure se présentait devant une division. Je reproduis dans leur entier les résultats de cette première expérience, afin que le lecteur puisse se convaincre de la régularité plus ou moins grande du phénomène.

Les pressions, toujours supérieures à l'atmosphère, sont exprimées en centimètres d'eau.

Les fractions de temps inférieures à cinq secondes n'ont pas été évaluées dans les lectures partielles, mais ces lectures successives se corrigeant nécessairement les unes les autres, cet inconvénient disparaît dans le calcul de ces moyennes.

Ciel absolument pur.

TABLEAU I. — LAURIER-ROSE DEVANT UNE FENÊTRE EXPOSÉE AU NORD.
CIEL PUR.

PRESSION.	TEMPÉRATURE DE L'AIR.	HEURE.	TEMPS EMPLOYÉ POUR UNE DIVISION.	MOYENNE.	DIVISIONS OBSERVÉES PAR MINUTE.	OBSERVATIONS.
	Degrés.	Matin.	Secondes.			
(A) H + 72..	25	9h 46′ 35″	»			
		47 5	30			
		47 25	20	26″	2,3	
		47 55	30			
		48 20	25			
H + 17.5	25	48 50	»			
		49 25	35			
		50 00	35	33″	1,8	
		50 30	30			
H + 72..	»	51	»			
		51 25	20	25″	2,4	
		51 55	30			
H + 72..	25	9h 57′ 45″	»			Changement d'index.
		58 10	25			
		58 40	30	26″	2,3	
		59 5	25			
		59 30	25			
H + 17..	25	10h 0 15	»			
		0 45	30			
		1 25	40	31″	1,9	
		1 55	30			
		2 20	25			

En examinant ce tableau, on est frappé de la netteté de l'influence de la pression et de l'exactitude, aussi grande qu'on peut le désirer, avec laquelle les mêmes absorptions correspondent aux mêmes pressions. Il est vrai que toute cette expérience n'a duré qu'un quart d'heure.

Il ne faut pas trop s'étonner de l'inconstance qui règne dans la quatrième colonne; elle est due, en première ligne, aux

erreurs de lecture. Sans instruments spéciaux, ces lectures, qui se succèdent avec une grande rapidité, ne sont pas chose très facile; mais, ainsi que je l'ai dit déjà, ce qui est compté de trop pour une lecture est compté en moins pour la suivante, de sorte que les moyennes sont ici plus précises que les indications de détail, qualité qui leur fait souvent défaut en physiologie.

D'un autre côté, certaines irrégularités paraissent être réellement inhérentes à la marche même de l'absorption, fait que j'ai déjà relevé autrefois, dans mon travail sur l'absorption dans ses rapports avec la transpiration. Je me les explique provisoirement par de brusques ruptures de l'équilibre de pression dans les éléments du bois, telles que la disparition subite d'un index d'eau dans un vaisseau, la confusion de deux colonnes d'air à une pression différente, ce qui peut permettre éventuellement la transmission brusque d'une même pression sur une grande longueur de la tige.

Je ne crois pas que personne ait jamais attribué au vaisseau ce rôle spécial de la transmission souvent subite d'une basse pression à de grandes distances. Le fait doit cependant exister, car les index d'eau immobilisés par la force capillaire sont, dans certaines conditions, absorbés par les éléments voisins, les colonnes d'air se confondent, les hautes pressions de la base de la plante doivent donc diminuer par le mélange avec l'air moins dense des parties supérieures de la plante.

Ces questions de détail réglées, revenons à notre expérience.

Pour ne pas accumuler inutilement les chiffres, je me bornerai à transcrire dans la suite les moyennes, en indiquant toutefois le nombre des lectures qui a servi au calcul des moyennes.

TABLEAU II. — MÊME PLANTE ET MÊMES CONDITIONS.

PRESSION.	TEMPÉRATURE DE L'AIR.	HEURE.	NOMBRE DES LECTURES.	TEMPS MOYEN POUR UNE DIVISION.	QUANTITÉ MOYENNE ABSORBÉE PAR MINUTE.	OBSERVATIONS.
	Degrés.			Secondes.		
(B) H + 1m,20.	25	10h 05′ 40″	10	20	3	Ciel pur.
H + 1m,20.	25	12 55	9	20	2,9	Autre index.
H + 0m,17.	25	17 00	5	29	2,1	Même index.
La plante reste de 10h,17 à 1 heure sous la pression de H + 17.						
(C) H + 0m,17.	25,5	1h 29′ 30″	9	24	2,5	
H + 0m,17.	25,5	1 58 50	12	22	2,7	Autre index.
H + 1m,20.	25,5	2 06 40	12	16	3,7	Autre index.
H + 1m,20.	25,8	2 16 00	12	17	3,4	
H + 1m,20.	25,5	2 58 25	12	19	3,1	Après une demi-heure.
H + 0m,17.	26	3 06 00	12	22	2.7	Autre index
H + 0m,17.	26	3 14 30	8	24	2,5	Idem.
H + 0m,17.	26	3 21 20	8	26	2,3	Idem.
H + 0m,17.	26	4 08 45	8	27	2,2	Après 3/4 d'heure.
H + 1m,20.	26	4 17 25	8	20	2,9	

Cette série d'observations, qui ont été faites le 26 août, dans les meilleures conditions possibles, par un temps très clair, à l'abri du soleil direct et aux heures de la journée où l'éclairage est le plus constant, est très éloquente.

Il est impossible de méconnaître l'influence accélératrice de la pression; dans la série B, la quantité d'eau absorbée par minute tombe brusquement de 2,9 à 2,1, lorsqu'on abaisse la pression de H + 120 à H + 17. Dans la série C, elle s'élève de 2,7 à 3,7, lorsqu'on rétablit la pression à H + 120.

Une question secondaire me préoccupait pendant cette expérience : il s'agissait de savoir si la pression sous laquelle la plante végète pendant quelque temps n'exerce pas une influence sur l'effet d'une autre pression qui lui succède. Mes observations sont si favorables à l'idée d'une influence de la pression de l'air contenu dans le bois, que je demande la permission de me placer à priori sur ce terrain, pour expliquer clairement ma pensée.

Après la série B, la plante est restée de 10 heures 17 minutes à 1 heure 58 minutes sous la pression faible de H + 17 : l'absorption s'est lentement accrue pendant les heures chaudes de la journée; je m'imagine que la plante, soumise à une transpiration très active, avait de la peine à recevoir par les racines l'eau dont elle avait besoin, en d'autres termes, que le vide s'est propagé peu à peu jusqu'aux racines, et que l'air contenu dans le bois de ces organes est arrivé à une pression très faible. Quel puissant effet de la pression de H + 120 !

De 2,7 par minute, l'absorption s'élève brusquement à 3,7, mais elle ne s'y maintient pas, car les premières portions d'eau absorbées comblent rapidement le vide nécessairement peu étendu, peu volumineux, qui existe dans les racines d'une bouture de Laurier-rose. L'absorption descend régulièrement à 3,4 et ensuite à 3,1.

En ce moment, j'abaisse la pression à H + 17. L'absorption descend à 2,7, ce qui est précisément le même chiffre que celui que j'avais observé antérieurement, mais cette fois, au lieu de monter, comme elle le faisait à 1 heure 58 minutes, elle descend successivement à 2,5, 2,3, 2,2. La pression de H + 120 ne parvint à relever l'absorption qu'à 2,9 divisions par minute.

Rien ne me paraît plus manifeste que l'influence de la pression de l'air enfermé dans le bois de la plante même. En effet, l'eau pénètre dans la racine sous la pression de $H + p - h$, h étant la pression à l'intérieur du bois à la partie inférieure de la plante. L'osmose intervient en augmentant h, qui peut devenir égal à $H + p$; c'est le cas que M. Hartig considère

comme la règle. D'autres agents influencent cette pression *h*, savoir un brusque changement de température, ainsi que je l'ai montré autrefois, et enfin le régime antérieur, si bien mis en lumière par l'expérience précédente.

Ce dernier fait reconnu, il est tout naturel de se demander si la plante a le pouvoir de *conserver* le vide qui se forme dans le bois à la suite de la transpiration, alors qu'elle ne peut pas absorber d'eau, le sol étant sec. Il est clair que cette propriété, si elle existe, serait éminemment favorable à la réparation des désordres causés par une sécheresse momentanée.

Je crois pouvoir avancer que les plantes herbacées et quelques plantes ligneuses jouissent de cette faculté; j'ai même déjà annoncé, d'une manière générale, ce fait (1), qui constituait une grave cause d'erreur à éviter dans mon travail sur l'absorption des matières salines (2); mais le Laurier-rose ne paraît pas présenter ce phénomène à un degré aussi prononcé.

Quelques expériences que j'ai faites dans ce sens, par un temps obscur, ne m'ont pas fourni de résultats bien affirmatifs.

Le 6 septembre, par un ciel malheureusement assez sombre, j'obtins, pour l'absorption, les chiffres suivants, la pression étant invariablement de H + 26 :

(1) L'absorption de l'eau par les racines (*Ann. sc. nat.*, t. IV, p. 122).

(2) De l'influence des matières salines, etc. (*Ann. sc. nat.*, t. IX, p. 11).

TABLEAU III.

TEMPÉRATURE DE L'AIR.	DATE.	HEURE.	NUMÉROS DE LA DIVISION.	DIFFÉRENCE.	EAU ABSORBÉE PAR MINUTE.	OBSERVATIONS.
Degrés.						
17,5	6 sept...	12h 41′ 0″	16,0			
		46	20,0	4,0	0,80	
		51	24,4	4,4	0,88	Marche ascendante.
		56	28,9	4,5	0,90	
La plante reste sans eau jusqu'à 2h,35; on lui redonne de l'eau.						
17,4	6 sept...	2h 35′ 00″	18,5			
		40	23,3	4,8	0,96	
		45	27,5	4,2	0,84	
		50	31,8	4,3	0,86	Marche descendante.
		3h 20′ 00″	54,9	23,1	0,77	
		25	58,2	3,3	0,66	
		30	62,0	3,8	0,76	
La plante reste sans eau jusqu'au lendemain.						
17,0	7 sept...	8h 03′ 00″	37,5			
		08	40,2	2,7	0,54	Ciel très couvert.
		13	43,3	3,1	0,62	Heure trop matinale.
		18	46,5	3,2	0,64	

La meilleure partie de cette expérience a été évidemment celle qui est comprise entre midi 41 minutes et 3 heures 30 minutes.

Au début, l'absorption augmentait sans cesse; à midi 56 minutes, j'ai fait écouler l'eau qui baignait les racines et j'ai laissé la plante dans cet état jusqu'à 2 heures 30 minutes, heure à laquelle je lui ai de nouveau donné de l'eau; l'absorption a été assez forte, mais il y a lieu de croire,

étant donnée la marche ascensionnelle de l'absorption pendant la première partie de l'expérience, qu'elle serait aisément montée à ce chiffre. Ce qui est plus caractéristique, c'est l'abaissement rapide qui s'ensuit, quoique l'heure de la journée ne fût pas bien avancée et que la température fût restée sensiblement constante.

Les chiffres que j'ai obtenus le lendemain sont de beaucoup inférieurs, malgré l'absence d'eau.

Il me paraît donc probable que le Laurier-rose, sans échapper à la règle en question, est moins sensible que d'autres plantes.

N'oublions pas que cet arbuste est adapté à des conditions de milieu très spéciales. Il est héliophile; ses feuilles, couvertes d'une cuticule très épaisse, présentent à la face supérieure un hypoderme de deux ou même de plusieurs assises; les palissades, aussi bien différenciées que possible, occupent la moitié de l'épaisseur du mésophylle; enfin, les stomates sont cachés avec soin dans des cryptes bourrées de poils.

Il est bien possible que cette plante, manquant d'eau, au lieu d'épuiser les parties inférieures et d'y faire le vide, s'adresse d'abord à ses réserves contenues notamment dans l'hypoderme, et cela simplement en vertu du principe de la moindre résistance : la pression de l'air dans le bois allant constamment en diminuant, il vient un moment où un tissu transpirateur quelconque éprouvera moins de résistance à tirer l'eau de l'hypoderme qu'à la puiser dans le système ligneux des faisceaux; dans ce cas, le mouvement de l'eau suit des routes tout à fait différentes jusqu'à ce que le sol soit de nouveau imbibé et permette aux racines de rendre aux tissus de réserve l'eau qu'ils ont dépensée à leur place.

Comme il est parfaitement prouvé que l'hypoderme change de volume suivant la quantité d'eau dont il dispose, rien ne s'oppose à cette manière de voir, et la manière ambiguë dont le Laurier-rose s'est comporté dans l'expérience précé-

dente me paraît trouver ainsi une explication toute naturelle (1).

Même expérience à une température plus basse. — Influence des pressions inférieures à l'atmosphère.

Une autre bouture de Laurier-rose, pourvue de dix grandes feuilles et terminée par une jeune inflorescence, est fixée dans l'appareil. Des essais préliminaires, à des pressions très fortes et très faibles, montrent que ni l'eau, ni l'air ne pénètrent à travers le bouchon.

Les expériences ont commencé le 6 septembre, à 7 heures du matin. Température voisine de 17 degrés, ciel clair; plante disposée près de la fenêtre fermée.

Je ne reproduis que les moyennes.

(1) Ce serait une erreur de croire que la quantité d'eau emmagasinée dans l'hypoderme est peu de chose relativement aux pertes que la plante subit par suite de la transpiration.

Le tissu méatique de la feuille du Laurier-rose mesure environ 13 millimètres d'épaisseur; dans ce tissu, les méats occupent au moins les trois quarts du volume; l'hypoderme mesure environ 43 millièmes de millimètre d'épaisseur; il est sans méats, de sorte qu'il renferme à peu près la même quantité d'eau que les cellules du parenchyme spongieux. L'évaporation n'étant pas très active dans le Laurier-rose, l'hypoderme peut pourvoir pendant plusieurs jours à la transpiration sans s'aplatir outre mesure.

TABLEAU IV. — LAURIER-ROSE. — PRESSIONS INFERIEURES A L'ATMOSPHÈRE.

PRESSION.	TEMPÉRATURE DE L'AIR.	HEURE.	NOMBRE DES LECTURES.	QUANTITÉ TOTALE ABSORBÉE.	EAU ABSORBÉE PAR MINUTE.	OBSERVATIONS.
	Degrés.					
(A) H + 25..	17	7h 16′	3	12,4	0,83	
H + 53..	17	7 35	4	28,1	1,00	Même index.
H + 19..	17,4	8 00	3	7,3	0,49	Idem.
(B) H + 42..	17,5	8 25	2	7,2	0,72	Autre index.
H + 12..	17,5	8 37	2	4,0	0,40	Même index.
H + 01..	17,5	8 48	3	7,2	0,48	Augmentation de l'éclairage.
H + 29..	17,5	9 05	1	3,6	0,72	Même index.
H + 01..	17,5	9 11	2	4,6	0,46	Idem.
H — 12..	17,5	9 24	2	2,0	0,20	Idem.
H — 33..	17,5	9 36	3	1,2	0,08	Idem.
H — 63..	17,8	9 55	3	1,4	0,09	Idem.
H + 01..	17,8	10 11	2	0,2	0,02	Idem.
H + 59..	17,9	10 22	1	2,0	1,20	Durée de 100 secondes.

Avant de passer à l'étude de ces résultats, il est nécessaire de reproduire le détail des lectures qui ont été faites à des pressions inférieures à l'atmosphère, à partir de la pression H — 12.

TABLEAU V. — ACCIDENTS DE L'ABSORPTION AUX BASSES PRESSIONS.

PRESSION.	HEURE.	NUMÉRO DE LA DIVISION.	DIFFÉRENCE.	EAU ABSORBÉE PAR MINUTE.	OBSERVATIONS.
H — 12.....	9h 24′	43,2			Deux très petites bulles d'air (dissous) ont perlé sous le bouchon dès le début. Elles sont restées immobiles et n'ont pas augmenté par la suite.
	29	44,8	1,6	0,32	
	34	50,2	0,4	0,08	
H — 33.....	36	42,9			
	41	43,8	0,9	0,18	
	46	44,0	0,2	0,04	
	51	44,1	0,1	0,02	
H — 63.....	55	40,5			
	10h 00′	41,5	1,0	0,20	
	5	41,9	0,4	0,08	
	10	41,9	0,0	0,00	Absorption nulle.
H + 1......	11	52,3			
	16	52,5	0,2	0,04	
	21	52,5	0,0	0,00	Idem.
H + 59.....	22	49			
	23′ 40″	51	2,0	1,20	

En étudiant le tableau n° IV, on voit que la partie supérieure, contenant les pressions supérieures à l'atmosphère, confirme d'une manière parfaite les résultats de la première série.

Cette fois, j'ai fait varier autant que possible les pressions, tout en faisant alterner les pressions fortes avec les pressions faibles.

A part une irrégularité produite par l'augmentation de l'éclairage (le soleil a commencé en ce moment à éclairer un mur blanc situé en face de la maison), on peut dire, sans vouloir exprimer une proportionnalité mathématique, que l'absorption est d'autant plus grande que la pression est plus forte.

Prenons les cinq premières moyennes, nous aurons les chiffres suivants, rangés par ordre de pression :

H + 53....................	1,00
H + 42....................	0,72
H + 25....................	0,83
H + 19....................	0,49
H + 12....................	0,40

Un seul chiffre, celui qui correspond à H + 42, fait tache dans la série régulièrement descendante.

Si l'absorption était proportionnelle à la pression, nous aurions, H étant traduit en eau (1034 centimètres) :

1087	1,00
1076....................	0,99
1059	0,97
1053	0,96
1046	0,96

On voit que l'absorption diminue beaucoup plus rapidement que proportionnellement à la pression. Et cependant, il paraît infiniment probable que le passage de l'eau à travers les membranes est simplement proportionnel à la pression. Si cela ne devait pas être, on concevrait bien plutôt qu'il fût proportionnel, par exemple, à la racine carrée de la pression qu'au carré, c'est-à-dire qu'on devrait s'attendre à une chute encore moins rapide que celle que nous a fournie le calcul.

Je ne crois pas qu'il soit possible d'expliquer autrement les chiffres donnés par l'expérience, qu'en admettant que les pressions additionnelles 53, 42, 25, etc., sont ajoutées non pas à la pression atmosphérique, mais à une pression bien inférieure.

Ainsi que je l'ai déjà dit, je crois avoir le droit de penser que l'osmose peut être considérée comme un agent qui augmente la pression *h* de l'air contenu dans le bois de la base de la plante, qu'elle trouve ainsi son expression algébrique et intervient dans les calculs sans y figurer par un signe spécial.

Si l'on veut bien admettre ensuite que, tout étant traduit

en pression, la quantité d'eau est proportionnelle à la pression, on aura :

H étant la pression atmosphérique, c'est-à-dire 1034 centimètres d'eau ;

p et p' les pressions que nous ajoutons artificiellement à la pression atmosphérique ;

h la pression de l'air contenu dans le bois des racines ;

a et b les quantités d'eau absorbées par minute lorsqu'on applique extérieurement les pressions $H+p$ et $H+p'$:

$$\frac{H+p-h}{H+p'-h}=\frac{a}{b},$$

d'où

$$h=\frac{(a-b)H+ap'-bp}{a-b}.$$

En appliquant cette formule aux expériences $H+53$ et $H+12$, on trouvera :

$$h=\frac{60.1034+100.12-40.53}{60}=1019=H-15.$$

Pour les expériences $H+53$ et $H+19$, la formule donne

$$h=\frac{51.1034+100.19-49.53}{51}=1020=H-14.$$

Concordance certainement plus belle qu'on ne pouvait l'espérer.

Le résultat est moins régulier pour les pressions plus fortes succédant à la plus forte de toutes. On obtient en effet, quand on compare $H+53$ à $H+42$:

$$h=1048=H+14,$$

quantité plus forte que l'atmosphère. Ceci n'a rien de surprenant après l'action de la forte pression qui a précédé.

Faut-il renoncer à expliquer le résultat de l'expérience $H+25$ qui donne :

$$h=922=H-112\quad ?$$

En prenant les moyennes des chiffres de l'expérience c du tableau II, on aura :

Pour la pression $H+120$, une absorption de 427 ;

Pour la pression H + 17, une absorption de 248, ce qui donne :

$$h = 914 = H - 120,$$

chiffre qui semble très rationnel quand on songe que la plante était restée pendant plusieurs heures sous une basse pression, que la transpiration était élevée (25 à 26 degrés), l'air sec et le ciel pur.

Ainsi, en résumé, la pression de l'air dans les parties inférieures de la plante est ordinairement inférieure à l'atmosphère d'une quantité qui est allée dans nos plantes jusqu'à 120 centimètres d'eau ou environ 9 centimètres de mercure. Elle peut pourtant, dans certains cas plus rares, dépasser la pression atmosphérique d'une pression que j'ai trouvée égale à 14 centimètres d'eau, ou environ 1 centimètre de mercure.

Quant aux pressions inférieures à l'atmosphère, les chiffres du tableau V montrent jusqu'à quel point l'absorption devient inconstante à ces pressions très voisines de celle qui règne à l'intérieur de la plante ou qui lui sont inférieures.

Le premier chiffre de chaque série ne devrait pas entrer en ligne de compte : il résulte probablement du trouble apporté à la marche du phénomène par la manipulation nécessaire pour le changement de pression.

On voit, dans tous les cas, que l'absorption devient très faible et même nulle. Il est très curieux que la pression H + 1, après celle de H + 63, ait produit si peu d'effet. Je ne m'explique pas cette particularité et je craignis un moment d'avoir tué les racines, ainsi que cela m'est arrivé avec une Fève; mais en appliquant immédiatement la pression H + 59, j'ai vu que la plante absorbait fort bien; elle est arrivée, en effet, à absorber 1,20 par minute, chiffre un peu plus élevé que celui qui correspond sur le tableau IV à la pression de H + 53, et, par conséquent, probablement normal.

Il faut donc admettre qu'en égalisant les pressions intérieure et extérieure, l'osmose ne parvient qu'à entretenir une absorption très faible qui, dépendant de lois qui me sont inconnues, échappe à mon appréciation.

B. — *Plantes herbacées.*

J'ai choisi pour ces expériences des Fèves qui avaient été entièrement élevées dans une solution nourricière.

1[re] *série.* — J'ai mastiqué dans l'appareil une Fève robuste, dont la tige, garnie de quatre feuilles, mesurait 25 centimètres de longueur.

Je ne reproduirai que les moyennes, avec l'indication du temps qui s'est écoulé entre une observation et la suivante.

TABLEAU VI. — Fève.

NUMÉRO DE L'ESSAI.	PRESSION.	TEMPÉRATURE DE L'AIR	HEURE.	MOYENNE ABSORBÉE PAR MINUTE.	TEMPS ÉCOULÉ ENTRE LES OBSERVATIONS.	OBSERVATIONS.
		Degrés.	Matin.			
1	H + 65....	18	9h 12'	0,80	1' 5"	Pluie.
	H + 72....			0,82		
2	H + 72....	18	9 28	0,81	1 20	
	H + 37....			0,88		
3	H + 37....	18	9 49	1,00	0	Temps plus clair.
	H + 48....			1,00		
4	H + 48....	18	10 26	1,11	0 50	Idem.
	H + 15....			1,23		
5	H + 72....	18	10 40	1,20	1 25	
	H + 15....			1,24		
6	H + 86....		12 15	1,71	1 10	Idem.
	H + 25. ..			1,58	3 40	
	H + 135...		Soir.	1,46		
7	H + 15....	20	5h 08'	1,87	0 25	Ciel clair
	H + 50....			1,71		
8	H + 140...	20	5 19	2,07		Idem.
9	H + 150...	20	5 31	1,71		Idem.
10	H + 100...	20	5 44	1,58	1 45	Idem.
	H + 40....			1,07		
	H + 15....			1,04		
11	H + 50....		8 04	0,56	2 15	Idem
	H + 15....			0,66	2 00	
	H + 40....			0,75		

Il suffit de jeter les yeux sur ce tableau pour voir que l'influence de la pression n'est nullement sensible au milieu des variations que subit l'absorption par suite des changements de la température et de l'état du ciel.

Même l'expérience n° 11, qui a été faite à l'obscurité, n'indique en aucune façon que la pression active l'absorption.

Il faut en conclure que la Fève, plante herbacée dans laquelle le système ligneux est très peu développé relativement aux parenchymes, se comporte tout autrement que le Laurier-rose sous ce rapport.

Cette influence existe-t-elle cependant, quoique à un degré très faible ?

C'est ce que j'ai voulu rechercher quelques jours plus tard, le 10 juin, le temps étant très sombre et très uniforme.

Quelques essais, qui n'ont pas duré plus d'une heure trente-huit minutes et pendant lesquels la température est insensiblement montée de 16 degrés à 17°,2, ont suffi pour mettre le phénomène en lumière et pour montrer que la pression peut, dans certaines conditions exercer une influence notable sur l'absorption de l'eau par les plantes herbacées.

Voici ces quelques chiffres :

TABLEAU VII.

NUMÉRO DE L'ESSAI.	PRESSION.	TEMPÉRATURE DE L'AIR.	ABSORPTION MOYENNE PAR MINUTE.	NOMBRE DES LECTURES.	OBSERVATIONS.
		Degrés.			
1	H + 20....	16	0,41	7	Pluie.
2	H + 0.....	16 — 16,5	0,29	5	Ciel couvert.
3	H + 57....	16,5 — 17	0,36	7	Quelques petites percées dans les nuages.
4	H + 0.....	17,2	0,20	6	Même état.

D'après ces résultats, il est impossible de nier l'existence de

l'influence de la pression, mais elle est loin de la régularité qui a été observée pour le Laurier-rose.

Peu de temps après cette expérience, la plante s'est si subitement fanée, que je l'ai trouvée toute penchée après avoir inscrit quelques chiffres sur le cahier d'expériences.

La fanaison s'est accentuée de plus en plus, malgré l'emploi d'une pression additionnelle de 1 mètre d'eau, et quoique j'eusse entièrement remplacé l'eau de l'appareil. Une heure plus tard, la tige décrivait une boucle fermée, les racines commençaient à noircir; l'absorption continuait toujours, mais en diminuant et en devenant si irrégulière, que l'index mettait à parcourir une division de l'échelle un temps qui variait entre 2′ 25″ et 12 minutes.

CONCLUSIONS.

1° L'absorption de l'eau par les racines du Laurier-rose dépend de la pression extérieure; elle paraît augmenter proportionnellement à la différence entre la pression extérieure et la pression de l'air contenu dans le corps ligneux des racines.

2° La pression de l'air intérieur dépend de la transpiration et de l'osmose; cette dernière ne paraît pas toujours être bien active, car en diminuant la pression atmosphérique d'environ 60 centimètres d'eau on parvient à arrêter l'absorption.

3° Dans les conditions où j'ai opéré, la pression de l'air intérieur n'est pas très éloignée de la pression atmosphérique. Elle lui est ordinairement inférieure de 0 à 9 centimètres de mercure; on n'a observé qu'un seul cas d'une pression intérieure dépassant l'atmosphère de 1 centimètre de mercure.

4° L'effet de la pression extérieure sur le Laurier-rose est assez sensible pour qu'un brusque changement de la pression barométrique doive porter un trouble notable dans l'absorption de l'eau par les racines.

5° La Fève, et peut-être toutes les plantes herbacées, sont beaucoup moins influencées par la pression extérieure sous le

rapport de l'absorption de l'eau que les plantes ligneuses. Cette influence existe cependant, mais elle passe le plus souvent inaperçue au milieu des fluctuations causées par les variations de la transpiration ou par d'autres causes secondaires.

6° La rapidité du mouvement de l'eau doit être d'autant plus grande qu'il y a plus d'écart entre la pression de l'air inclus au sommet et à la base de la plante. La pression extérieure, aussi bien que l'osmose, peuvent augmenter cet écart. Pour ne parler que de la première, je tiens à faire observer qu'elle peut de beaucoup dépasser la pression de l'atmosphère toutes les fois que les parties actives des racines sont situées à une certaine profondeur.

II. — DU RÔLE DES VAISSEAUX DANS LE MOUVEMENT DE LA SÈVE ASCENDANTE.

Les diverses phases de la discussion sur les causes de l'ascension de la sève dans le corps ligneux sont trop connues pour qu'il soit nécessaire de les résumer encore une fois en tête de ce nouveau travail. La plupart des mémoires concernant cet important sujet ont été publiés ou tout au moins résumés, soit dans ce *Recueil*, soit dans les *Annales agronomiques* (1).

Mais le livre de M. R. Hartig a été suivi de près d'une *Notice préliminaire* de M. Jean Dufour (2), qui s'est livré, au laboratoire de Würtzbourg, à des recherches sur la manière dont se comportent les rameaux qu'on a fortement fléchis sur eux-mêmes, de manière à obstruer les vaisseaux et les trachéides.

Les résultats qu'il a obtenus par ce procédé et quelques

(1) Voy. Elfving, *Ann. sc. nat.*, 6e série, t. XV. — Bœhm, les diverses publications, toutes traduites ou résumées dans les *Annales agronomiques*. — Vesque, diverses publications (*Ann. sc. nat.*, 6e série, t. III, IV, VI, IX, XV). — R. Hartig, *Ann. agron.*

(2) *Ueber den Transpirationsstrom in Holzpflanzen.*

considérations théoriques l'ont conduit à rejeter absolument la théorie de M. Bœhm, dont je suis l'un des défenseurs.

Au premier abord, les arguments présentés par M. Dufour paraissent assez convaincants; il était donc nécessaire d'en discuter la valeur; c'est ce que je me propose de faire dans ces lignes.

La note de M. Dufour est précédée d'un résumé des idées de M. Sachs. Ces idées étant réellement bien souvent méconnues, ainsi que le fait remarquer l'auteur, je crois bien faire en reproduisant ici la traduction de ce passage.

« La théorie de l'imbibition ne prétend nullement que tous les mouvements de l'eau qui se manifestent dans le bois sont dus à des forces moléculaires. Seul, le *courant de transpiration* qui se dirige des racines aux feuilles est rendu possible par l'imbibition et se meut par conséquent dans l'épaisseur des parois cellulaires.

» Les feuilles perdant de l'eau, les membranes des trachéides et des vaisseaux de la partie supérieure de la plante en cèdent pour couvrir les pertes causées par la transpiration. Mais en même temps l'équilibre de la répartition de l'eau dans l'échafaudage des membranes cellulaires est rompu; de nouvelles molécules d'eau se meuvent de bas en haut, et ainsi de suite, de sorte que toute l'eau d'imbibition est animée de ce mouvement ascensionnel. Lorsque la transpiration cesse, par exemple la nuit ou pendant qu'il pleut, les molécules liquides restent dans un repos relatif; il suffit ensuite de troubler de nouveau l'équilibre en un point quelconque pour que le mouvement recommence aussitôt.

» C'est ce que fait la transpiration.

» Le signe caractéristique de cette théorie ne consiste pas en ce que l'eau se meut dans l'épaisseur des parois, mais bien en ce qu'elle n'invoque que des forces d'imbibition et non, par exemple, l'attraction capillaire produite dans des canaux invisibles, qui d'ailleurs n'existent pas, d'après les principes expérimentaux de l'imbibition.

» M. Sachs, le premier, a insisté sur ce point que l'imbibi-

tion et la capillarité sont des choses fort distinctes en principe; seuls, les corps organisés sont susceptibles d'imbibition et jouissent de la faculté d'absorber de l'eau en augmentant de volume d'une quantité correspondante.

» Cette théorie, qui repose uniquement sur la connaissance des propriétés particulières de l'imbibition, est fort différente de celle de Unger, car ce savant pensait bien que l'eau se meut dans l'épaisseur des parois, mais il attribuait ce mouvement à la capillarité.

» A côté de ce courant causé par la transpiration, il peut fort bien s'en produire d'autres dans le bois et ces derniers n'ont rien à faire aux forces d'imbibition; ils n'ont pas leur siège dans les membranes, mais bien dans les cellules et dans les vaisseaux.

» Ces courants *de filtration* sont motivés par les causes les plus diverses, telles que la poussée des racines, les différences de pression de l'air contenu dans les cellules, etc. Ces mouvements ne se transmettent pas à l'eau d'imbibition, mais ils se réduisent à une filtration de l'eau de cellule en cellule, notamment à travers les ponctuations.

» On peut imaginer que dans un arbre, ces deux sortes de mouvements de l'eau coexistent sans se gêner mutuellement. Lorsque, dans les premières heures d'une matinée d'été, le courant de transpiration ascendant s'établit dans l'épaisseur des parois, il se produit en même temps, mais en sens contraire, une filtration de l'eau liquide dans les cavités cellulaires sous l'influence des rayons solaires, les rameaux les plus fins s'échauffent d'abord, ensuite les branches plus fortes et enfin le tronc; les bulles d'air contenues dans les cellules se dilatent considérablement, mais inégalement, et il se produit ainsi des filtrations qui vont de la couronne au tronc jusqu'à ce que la température soit la même en tous les points de l'arbre. »

Cet exposé très clair de la théorie professée actuellement par M. Sachs présente, à mon avis, plusieurs points faibles sur lesquels je reviendrai à la fin de ce travail.

Je me suis proposé dans cette nouvelle série de recherches de soumettre à l'expérience le point suivant :

Les vaisseaux et peut-être les cavités des autres éléments du bois étant bouchés, l'eau continue-t-elle à se mouvoir dans la tige?

M. Elfving a eu l'idée d'injecter du beurre de cacao dans des morceaux de bois frais ; cette matière, qui fond vers 25 degrés, ne peut en aucune manière altérer les tissus ; elle s'y fige et produit une obstruction complète. Ceci étant fait, M. Elfving essaye de pousser de l'eau à travers le bois ainsi préparé : quelle qu'ait été la pression, il n'a pas réussi à constater le moindre symptôme de filtration; le bois est devenu imperméable à l'eau sous pression. De là M. Elfving conclut que le bois a perdu la propriété de conduire de l'eau et que par conséquent l'eau doit se mouvoir, non dans l'épaisseur des parois cellulaires, mais en passant de cellule en cellule.

D'après M. Jean Dufour, cette conclusion est erronée. M. Elfving confondrait en effet la filtration et l'imbibition. L'une des particularités de l'imbibition consiste en ce que, le bois étant saturé d'eau, on a beau employer les plus fortes pressions on ne parvient pas à lui en faire prendre la plus faible quantité ; il n'y a donc aucune raison pour que l'eau d'imbibition se mette en mouvement dans ces conditions. Au lieu de chercher à pousser de l'eau à travers le bois, il aurait fallu au contraire en retirer à l'autre extrémité. Dans ce cas, l'équilibre eût été rompu et on aurait sans doute observé le mouvement de l'eau d'imbibition.

J'ai prouvé l'année dernière qu'il est facile de se convaincre par l'observation directe que l'eau se meut dans les vaisseaux et j'ai décrit les différents cas particuliers que ce phénomène peut présenter (1).

Ces expériences que je n'avais faites d'abord que sur deux plantes, je les ai répétées avec un plein succès sur un grand

(1) Remarquons en passant que M. J. Dufour a négligé de mentionner ce travail en opposition flagrante avec la théorie de l'imbibition.

nombre d'herbes et de plantes ligneuses. On peut voir, entre autres, que des torrents d'eau pénètrent dans les vaisseaux les plus jeunes d'un cep de Vigne, tandis qu'elle passe indifférente devant les vaisseaux âgés et devant tous les autres éléments du bois.

On pouvait objecter que l'air contenu dans les vaisseaux étant à une pression inférieure à l'atmosphère, il est tout naturel que l'eau s'y précipite lorsqu'on coupe un rameau sous ce liquide, mais je me suis assuré que le phénomène n'est pas momentané, qu'il continue sans interruption pendant de longues heures, que son intensité s'accroît lorsque la plante est frappée d'un rayon de soleil et qu'elle diminue lorsqu'on la recouvre d'une enveloppe opaque. Les quantités d'eau absorbée par une plante herbacée dépassent au centuple le volume total de tout le système vasculaire.

Ces faits étant bien constatés, j'ai pensé qu'il suffisait de placer l'extrémité inférieure d'un rameau ou le pétiole d'une feuille pendant cinq minutes dans du beurre de cacao fondu à 25-30 degrés et de les plonger ensuite dans de l'eau à 15 degrés environ pour produire une obstruction complète.

Le résultat des expériences a pleinement confirmé mes prévisions.

Voici de quelle manière j'opère.

Je coupe sous l'eau deux rameaux ou deux feuilles ; l'un des rameaux ou l'une des feuilles est destinée à être légèrement injectée de beurre de cacao, tandis que l'autre sert de témoin.

Prenons, pour fixer les idées, une feuille de Topinambour je commence par plonger le pétiole dans de l'eau à 25 degrés afin de lui faire prendre cette température, ensuite je la fixe sur un support de manière que la section du pétiole plonge de quelques millimètres dans le beurre de cacao à 25 degrés et je la laisse dans cette position pendant cinq minutes environ. Retiré de ce bain, le pétiole est plongé dans de l'eau à 15 degrés et lorsque le beurre de cacao qui était adhérent à l'extrémité du pétiole est complètement figé, je rafraîchis la section sous l'eau à l'aide d'un rasoir bien net.

La feuille destinée à servir de témoin est traitée exactement de la même manière, sauf qu'elle séjourne dans l'eau à 25 degrés pendant que l'autre feuille absorbe du beurre de cacao.

Toutes deux sont ensuite placées côte à côte dans un même cristallisoir contenant de l'eau et exposées au soleil.

1re *expérience.* — Deux feuilles de Topinambour sont traitées de la manière ci-dessus décrite.

La feuille dont les vaisseaux sont injectés sur une faible longueur de beurre de cacao, commence immédiatement à se faner et, au bout d'une heure d'exposition au soleil, sa pointe pend verticalement, molle et flasque en dehors du cristallisoir; la feuille non injectée est restée parfaitement fraîche.

Dans cette expérience, on a deux causes d'erreur à craindre:

1° On peut croire que, pendant que je rafraîchis la section du pétiole sous l'eau, le rasoir entraîne une petite quantité de la matière grasse et en recouvre la section tout entière, de manière à la rendre incapable d'absorber de l'eau.

2° On peut en outre objecter que le beurre de cacao en montant dans les vaisseaux suit les parois et entrave leur conductibilité.

Pour répondre à ces deux objections j'ai fait les expériences suivantes :

2e *expérience.* — Trois feuilles de Topinambour, coupées sous l'eau, sont traitées de la manière suivante :

1re feuille, placée dans l'eau à 25 degrés, puis, au bout de cinq à sept minutes, dans l'eau à 14 degrés; je rafraîchis la section sous l'eau à l'aide d'un rasoir dont la lame est recouverte d'une mince couche de beurre de cacao.

2e feuille, placée dans l'eau à 25 degrés, puis dans le beurre de cacao à 25 degrés, enfin dans l'eau à 15 degrés; la section est rafraîchie à l'aide d'un rasoir propre.

3e feuille, placée dans l'eau à 25 degrés, puis dans l'eau à 15 degrés.

La feuille n° 2 est fanée déjà au bout d'un quart d'heure, tandis que les deux autres restent indéfiniment fraîches.

Il est donc démontré que l'opération qui consiste à rafraîchir la section du pétiole à l'aide d'un rasoir enduit de beurre de cacao ne nuit en aucune façon à l'absorption de l'eau par cette section, soit que le beurre de cacao ne s'attache pas sur la section humide, soit que les faibles quantités qui peuvent s'y attacher ne produisent aucun effet.

3e *expérience*. — Deux feuilles de la même plante, l'une dont le pétiole s'est injecté de beurre de cacao, l'autre sans aucune préparation, sont placées côte à côte dans un même cristallisoir. La première ne tarde pas à se faner; j'enlève alors, sous l'eau, une longueur de 1 à 1 centimètre et demi sur le pétiole injecté. Au bout d'une heure la pointe fanée et pendante de cette feuille commence à se redresser et bientôt elle a repris toute sa rigidité.

Il paraît donc certain que le beurre de cacao figé dans les vaisseaux n'agit que physiquement en obstruant ces canaux.

4e *expérience*. — Deux rameaux de Topinambour, portant chacun une vingtaine de feuilles, sont traités de la même manière que les feuilles dans la première expérience, c'est-à-dire que l'un est injecté à sa base et sur une faible longueur de beurre de cacao fondu, l'autre étant resté à l'état naturel. La section du premier a été rafraîchie sous l'eau.

En moins d'une demi-heure, la sommité du rameau injecté était fanée et pendait verticalement le long de la tige; le lendemain, ses feuilles étaient desséchées et friables ; le rameau non injecté est resté frais, mais le lendemain ses feuilles étaient un peu plus molles.

5e *expérience*. — La même expérience est faite sur deux rameaux, coupés sous l'eau, du *Ligustrum ovalifolium*, mesurant à la base un diamètre d'environ 6 millimètres, et garnis chacun d'environ trente feuilles.

Les feuilles de cette espèce étant coriaces et persistantes, l'effet n'a été visible que le lendemain : la sommité du rameau injecté était fanée et les jeunes feuilles révolutées longitudinalement.

J'ai ensuite coupé à la base de ce rameau une longueur

d'environ 10 centimètres. Aussitôt les jeunes feuilles ont commencé à se dérouler; l'effet était déjà visible en moins d'un quart d'heure et quelques heures après la sommité elle-même commençait à se redresser. Le surlendemain, ce rameau avait repris son aspect normal.

6e *expérience.* — La même expérience a été faite sur deux rameaux de Saule (*Salix viminalis*) coupés sous l'eau.

Ces rameaux étaient garnis chacun d'une trentaine de feuilles. L'opération de l'injection était terminée à trois heures; à quatre heures et quart les pétioles du rameau injecté avaient complètement perdu leur élasticité, les feuilles supérieures étaient penchées, les inférieures desséchées et roulées en spirale. Le rameau non injecté a conservé sa fraîcheur jusqu'au lendemain; ce n'est qu'au bout de vingt-quatre heures, que ses feuilles inférieures ont également commencé à se rouler en spirale.

7e *expérience.* — La même expérience a été faite sur deux rameaux de Vigne.

Le résultat a été aussi net que dans les deux autres cas. Une expérience parallèle a montré que le mercure monte dans les vaisseaux d'un rameau fixé verticalement, à une hauteur de 15 centimètres et que la plante se fane ensuite.

On peut tirer de ces expériences la conclusion suivante :

Lorsqu'on coupe sous l'eau des feuilles ou des rameaux de plantes herbacées ou ligneuses et qu'on bouche mécaniquement l'extrémité ouverte des vaisseaux en laissant en contact avec l'eau toutes les autres parties de la section, ces feuilles ou ces rameaux perdent immédiatement de leur eau intracellulaire et se fanent. Il en résulte que les cavités des vaisseaux seules prennent dans ce cas des quantités appréciables d'eau; les autres tissus n'absorbent pas d'eau ou en absorbent si peu qu'ils sont bien loin de pouvoir réparer les pertes causées par la transpiration. Dans les conditions où je me suis placé, l'eau se meut dans la cavité des vaisseaux et non dans l'épaisseur des parois, quoiqu'on ait eu soin de ne mettre la

section de ces parois en contact qu'avec de l'eau et pendant quelques minutes avec le beurre de Cacao.

Ces expériences sont d'accord avec l'observation directe du mouvement de l'eau dans les vaisseaux. De plus, on voit qu'elles sont un complément indispensable de celles de M. Elfving. On ne pourra pas me reprocher d'avoir essayé de faire absorber de l'eau à des parois cellulaires qui en sont saturées; je fais bien agir la transpiration qui, en soustrayant de l'eau aux parois cellulaires lignifiées des parties supérieures de la plante, rompt l'équilibre de la distribution de l'eau et doit rendre aux parois cellulaires des parties inférieures la propriété d'en absorber. Elles ne l'ont pas fait.

Il s'agit de savoir maintenant si les cavités vasculaires ne jouent ce rôle que sur des rameaux coupés, tandis que leurs fonctions seraient tout autres dans la plante intacte. Il n'est pas certain, en outre, que toutes les plantes ou que toutes les parties d'une même plante se comportent de la même manière.

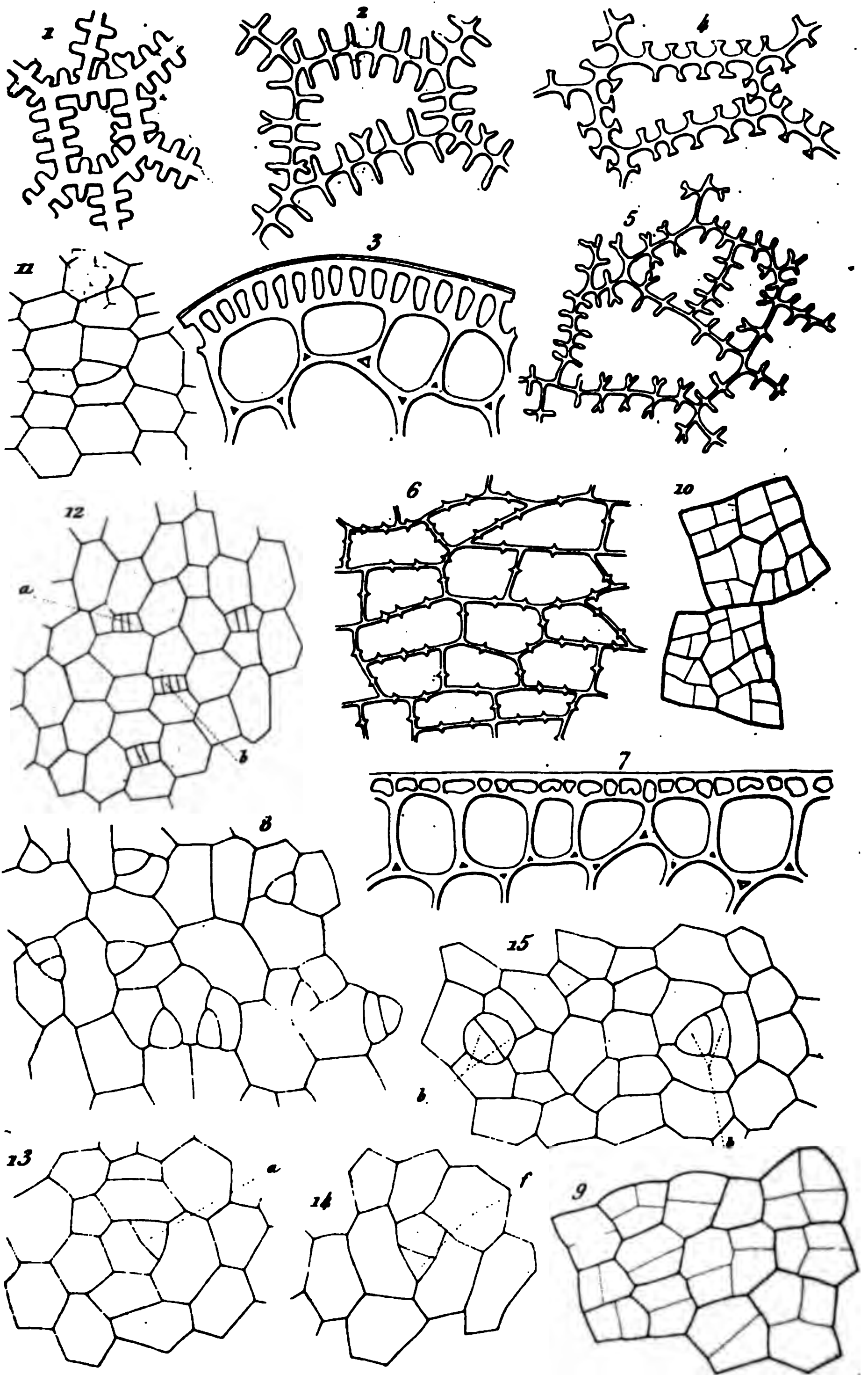
Ces deux problèmes ne peuvent pas être résolus dans l'état actuel de la science.

Il n'est pas possible, en effet, d'obturer les vaisseaux et les trachéides sans employer des moyens qui produisent des lésions plus ou moins graves.

M. Sachs eut l'idée, il y a déjà longtemps, de fléchir la tige d'une plante, par exemple du Houblon ou du Lin, de manière à lui faire décrire un angle très aigu, croyant ainsi aplatir et fermer tous les vaisseaux et toutes les trachéides. Il constata que les parties situées au delà du point infléchi ne se fanent pas, même au soleil, et qu'elles continuent à végéter normalement.

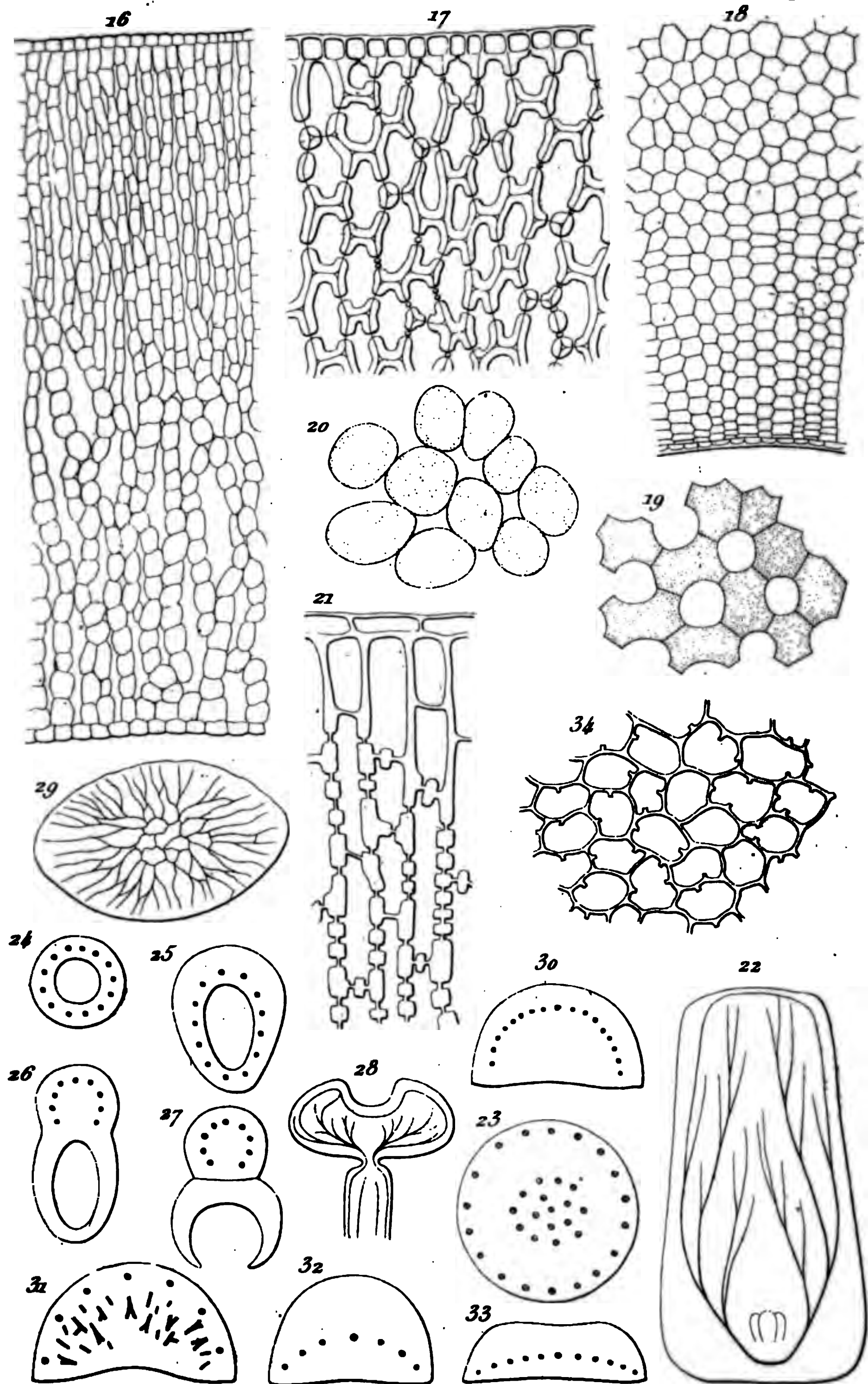
Mais M. Russow (1) a démontré que par ce procédé les éléments du bois ne subissent qu'une faible courbure, et il pense qu'ils constituent, après comme avant, des voies libres pour le passage de l'eau.

(1) *Bot. Centralblatt*, 1883, t. XIII, p. 99.



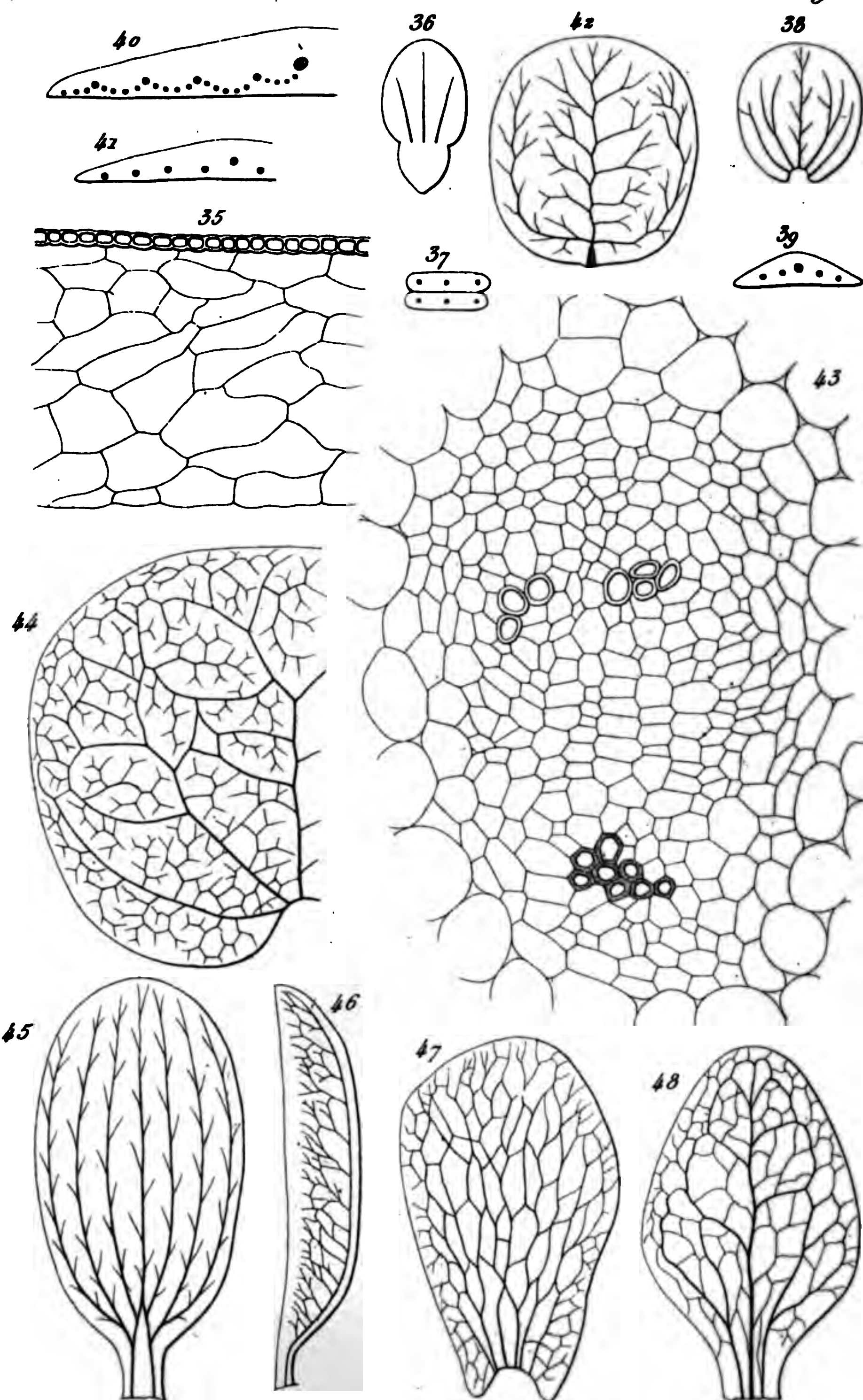
J. Godfrin del. Dufour sc.

Epiderme: ..7 Æsculus _ 8 Trigonella _ 9, 10 Eriobotrya _ 11, 12 Linum _ 13 _ 15 Coulteria.



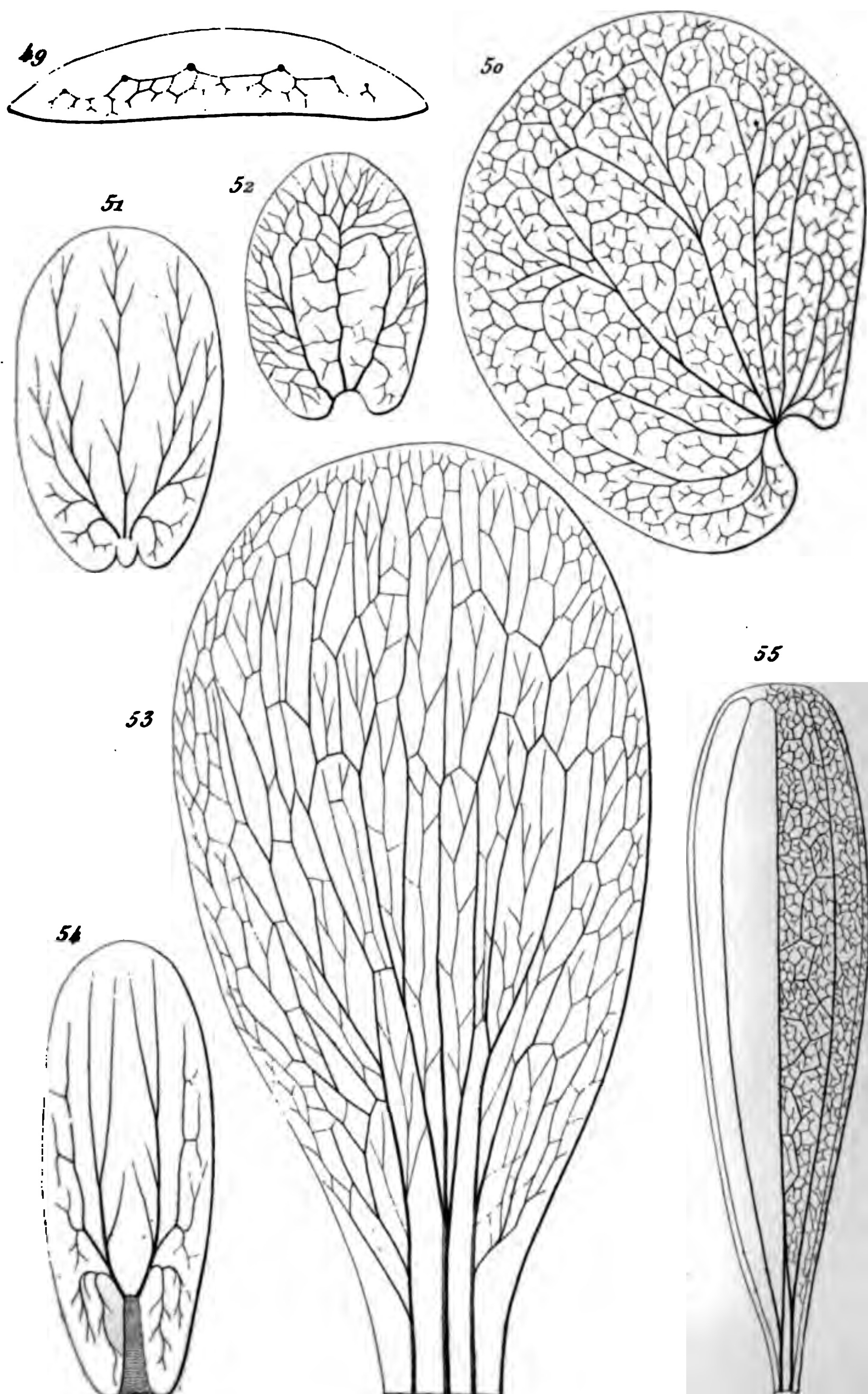
J. Godfrin del. Dufour sc.

Parenchyme : 16 Lupinus _ 17 Schotia _ 18 Arachis _ 19, 20 Erythrina _ 21 Latania
Nervation : 22 _ 29 Latania _ 30 Erythrina _ 31 Arachis _ 32 Eriobotrya _ 33 Cerasus
Epiderme : 34 Acer.



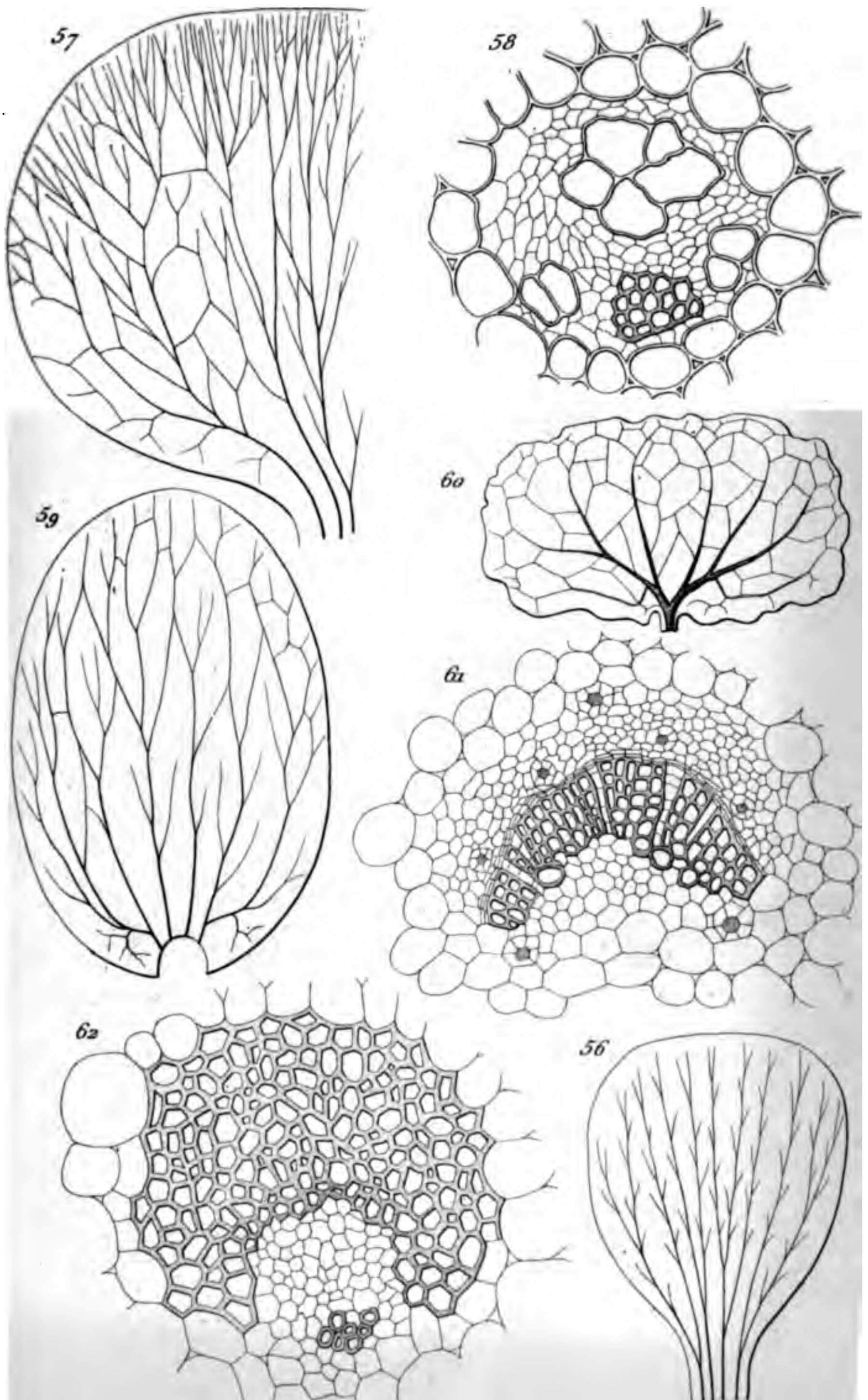
J. Godfrin del. Dufour sc.

Parenchyme : 35 Trigonella _ Nervation : 36 _ 41 Coulteria _ 42 Eriobotr
43 Latania _ 44 Sterculia _ 45, 46 Arachis _ 47 Amygdalus _ 48 Hedera



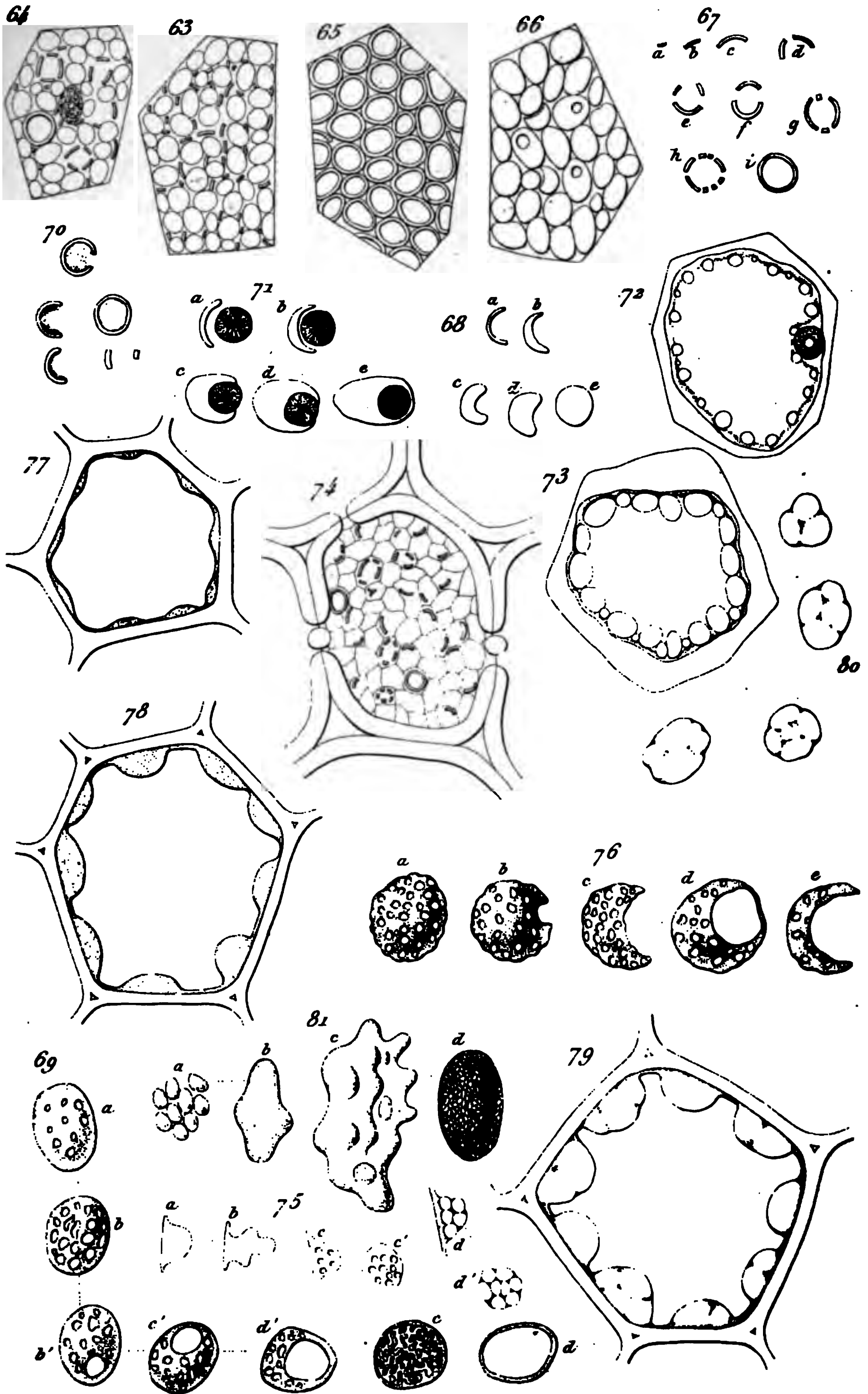
J. Godfrin del. Dufour sc.

Nervation: 49, 50 Schotia — 51 Citrus — 52 Casuarina — 53 Ulmus — 54 Quercus — 55 Acer.



J. Godfrin del. Dufo

Nervation : 56, 57 Æsculus _ 58 Acer _ 59 Laurus _ 60 Fagus.
61 Hedera _ 62 Latania.



J. Godfrin del. Dufour sc.

Contenu cellulaire : 63 – 69 Trigonella – 70 Schotia – 71 Acer
72, 73 Æsculus – 74, 75 Schotia – 76 Arachis – 77 – 80 Quercus – 81 Arachis.

M. J. Dufour vient de répéter ces expériences; il croit qu'il est difficile de voir au microscope si un vaisseau est ouvert ou fermé, et, abandonnant l'observation directe, il montre qu'un rameau de Saule traité de cette manière devient imperméable à l'eau sous la pression de 85 centimètres de mercure, appliquée pendant plusieurs heures consécutives. De là il conclut que si les cavités des vaisseaux et des trachéides ne sont pas complétement oblitérées, malgré cela, elles ne peuvent plus servir au passage direct de l'eau.

Selon moi, cela n'est pas du tout indifférent. Nous savons fort bien, et j'en ai donné la preuve visible, que l'eau ne coule pas toujours d'une manière ininterrompue dans les vaisseaux, que la simple interposition des bulles d'air peut arrêter ce mouvement, et que, dans ce cas, les index d'eau sont enlevés aux vaisseaux par les éléments circonvoisins pour être transmis à d'autres : l'obstacle est ainsi tourné.

Un simple étranglement du vaisseau doit agir comme un index d'eau, car l'eau pariétale doit s'amasser immédiatement dans ces parties étranglées, d'après cette vieille expérience de physique qui consiste à montrer qu'un index d'eau dans un tube conique n'est pas en équilibre, qu'il se meut au contraire vers le sommet du cône.

La partie étranglée d'un vaisseau ou d'une trachéide sera donc occupée par un index d'eau, qu'il sera facile de faire avancer jusqu'à ce que le ménisque se forme au sommet commun du double cône; si l'on veut le chasser de là, il faudra employer des pressions beaucoup plus fortes. Or il est probable que ces étranglements sont nombreux, les parois transversales des éléments qui entourent les vaisseaux doivent concourir à les multiplier; dès lors il est facile de comprendre que le rameau devienne imperméable à l'eau liquide sous pression.

Même au point de vue de la théorie atmosphérique conçue dans son sens le plus vaste, une interruption des voies directes par la matière des parois cellulaires ne nuirait en aucune façon au mouvement de l'eau, puisque ces parois sont per-

méables; ce n'est qu'en augmentant considérablement l'épaisseur de l'obstacle qu'on pourrait empêcher l'ascension de l'eau.

Ajoutons que M. Dufour reconnaît lui-même que ses rameaux sont souvent restés perméables, mais il ajoute que des rameaux infléchis qui sont restés frais pendant des semaines se sont montrés imperméables.

Tout cela peut dépendre de légers accidents momentanés, de la présence ou de l'absence, ainsi que du mode de disposition des index d'eau dans les vaisseaux et dans les trachéides. Un rameau imperméable en un moment donné, peut avoir été perméable un instant auparavant, alors que la transpiration des feuilles changeait continuellement la place, le nombre et la longueur des index d'eau et des bulles d'air.

Ces expériences ne me paraissent avoir aucune force démonstrative.

Il n'en est pas de même de celle que je vais décrire.

A l'aide d'une pince plate dont les mors ont environ 5 millimètres de large, j'écrase la base d'un rameau de Saule tenant à l'arbre, jusqu'à ce qu'il n'ait plus que la moitié ou le tiers de l'épaisseur primitive : toutes les cavités sont ainsi oblitérées; il peut bien se produire quelques fissures dans le corps ligneux, mais ces fissures sont longitudinales et ne sauraient empêcher le mouvement de l'eau de bas en haut.

Un rameau traité de cette manière commence immédiatement à se faner, les pétioles perdent leur rigidité, et bientôt les feuilles inférieures se dessèchent et se roulent.

Après avoir rappelé la fameuse expérience de Hales, qui consiste en ce qu'on fait de chaque côté du rameau des entailles dépassant la moitié de l'épaisseur du rameau, et qui, par conséquent, coupent tous les vaisseaux (1), M. J. Dufour reprend une vieille objection qu'on a faite à l'ancienne théorie capil-

(1) Il est assez curieux que M. Dufour se serve de cette célèbre expérience contre notre théorie. M. Bœhm en a fait au contraire l'un des points de départ de ses recherches.

laire, en affirmant que, suivant la théorie atmosphérique, l'eau ne peut monter à plus de 10 mètres d'élévation.

Il est vrai que plusieurs des partisans de la théorie de M. Bœhm se sont laissé entraîner par le raisonnement, en disant que l'eau maintenue par capillarité et par des cloisons transversales (résistance à la filtration) ne pèse plus rien.

J'accorde pour ma part que l'eau ne peut pas monter à plus de 10 mètres de hauteur, mais à deux conditions : 1° que nous ne comptions que la somme des longueurs des index d'eau, car l'eau retenue sur les parois latérales des cellules ne pèse réellement pas sur la colonne liquide ; elle est maintenue par capillarité ; et 2° que la pression exercée sur l'eau à la base du système ligneux de l'arbre soit égale à 1 atmosphère.

Si l'eau n'occupe en moyenne que la moitié de la hauteur des cellules, elle peut monter à 20 mètres ; si elle n'occupe que le tiers, elle peut monter à 30 mètres ; et si elle n'occupe que le cinquième, ce qui n'est point absurde, elle peut monter à 50 mètres, ce qui est déjà une fort jolie élévation pour un arbre.

Qui nous dira maintenant quelle est la pression de l'air dans les trachéides inférieures? Je me suis assuré qu'elle peut fort bien dépasser l'atmosphère. Les plantes ne sont pas nécessairement toutes semblables, la preuve en est qu'elles s'élèvent à des hauteurs différentes ; il me semble qu'on devrait rechercher si l'osmose ne joue pas des rôles fort variés suivant l'altitude propre à l'espèce. Celle-là une fois en jeu, il est facile de comprendre que l'air contenu dans les éléments ligneux de la base de l'arbre peut se trouver sous une pression qui dépasse de beaucoup l'atmosphère, voire même 2 ou 3 atmosphères.

En outre, les racines ne sont pas au niveau du sol, elles plongent à une profondeur quelquefois très grande. Je veux bien que l'air du sol soit à la pression atmosphérique lorsque celui-ci est à sec, mais il n'en est pas de même lorsqu'il est imbibé d'eau : la pression de l'eau s'ajoute à celle de l'atmosphère. Notons bien qu'il n'est pas nécessaire que cet état

du sol soit permanent, car les plantes savent fort bien emmagasiner de l'eau dans des réservoirs construits à cet effet, dont quelques-uns la retiennent par osmose et ne la cèdent aux organes de transpiration que lorsque leur force attractive est vaincue.

En réunissant ces résultats à ceux de mon dernier travail sur l'observation directe du mouvement de l'eau dans les vaisseaux, je crois pouvoir terminer cette note par les aphorismes suivants :

1. L'eau se meut dans les jeunes vaisseaux toutes les fois qu'elle le peut, c'est-à-dire tant qu'ils ne sont pas obstrués par des accidents quelconques ou par de nombreuses bulles d'air formant chapelet.

2. Lorsque les vaisseaux sont obstrués par l'une de ces causes, il s'établit des voies latérales par suite de la diminution rapide de la pression de l'air contenu dans les éléments ligneux voisins, et l'eau passe des vaisseaux dans ces éléments, d'où elle s'éloigne en obéissant aux différences de pression qui règnent dans les éléments ligneux.

3. L'enlèvement latéral de l'eau aux vaisseaux est tellement rapide, qu'il peut fort bien se former un courant direct dans ceux-ci au-dessous d'un obstacle; ce phénomène ne diffère, du reste, pas spécifiquement de l'état normal, puisque les vaisseaux sont fermés à leur extrémité.

4. Lorsqu'on bouche l'extrémité ouverte des vaisseaux d'un rameau coupé ou d'une feuille pris sur des plantes herbacées ou ligneuses, ces rameaux ou ces feuilles se fanent et se dessèchent.

5. Lorsqu'on écrase un rameau sur une longueur de quelques millimètres, de manière à fermer les cavités des vaisseaux et des trachéides, ce rameau se fane.

Les propriétés que M. Sachs attribue aux parois lignifiées des éléments du bois sont jusqu'à ce jour purement hypothétiques. Il est certain qu'il y a de l'eau d'imbibition, que cette eau peut se mouvoir dans la masse imbibée; mais je ne comprends pas que cette eau soit en même temps retenue avec une

force très grande et éminemment mobile. Quant à la distinction entre la filtration et le mouvement de l'eau d'imbibition, je ne vois pas comment elle peut exister : tout se réduit à l'eau d'imbibition, car la filtration exige qu'il y ait des perforations dans les membranes par où s'établiraient des voies d'eau, perforations qui n'existent pas. C'est par imbibition que l'eau se meut dans les parois cellulaires en passant de cellule en cellule.

Mais M. Sachs appuie la distinction de ces deux phénomènes physiques justement sur un fait qu'il croit avoir observé, et qui consisterait en ce que l'eau traverse les membranes *par filtration* lorsqu'on applique des pressions, mais que l'eau d'imbibition n'est nullement mise en mouvement par une pression unilatérale.

Avant de faire jouer un si grand rôle à ce phénomène d'imbibition, à la gonflabilité, il faudrait attendre qu'elle fût étudiée par un physicien. Essayer de faire passer de l'eau sous pression à travers des membranes cellulaires, l'autre côté étant exposé à l'air, est une faute qu'un physicien n'eût pas commise. Il est en effet probable que l'imbibition n'est que de la capillarité appliquée à des espaces infiniment petits. On sait que la loi de Poiseuille ne s'applique déjà plus à des tubes très fins, mais encore mesurables : quelle sera cette loi pour l'imbibition?

Il est facile de comprendre qu'il sera impossible de produire un écoulement d'eau lorsque la surface du corps imbibé est en contact avec l'air. Il faut que les deux côtés de la matière imbibée soient en contact avec de l'eau sous des pressions différentes; ce n'est que de cette manière qu'on pourra se rendre compte de sa perméabilité.

L'expérience décidera.

Les essais de filtration de M. J. Dufour ne prouvent qu'une chose, c'est que l'eau passe lorsque les vaisseaux sont libres, et qu'elle ne passe pas lorsqu'ils sont bouchés. A la place des gros tubes, on n'a plus que les voies infiniment déliées des corps gonflables, qui certes ne laisseraient pas écouler d'eau

par leur extrémité en contact avec l'air, même si l'on employait les plus fortes pressions.

Je crois donc, jusqu'à preuve du contraire, que l'eau mise en mouvement pendant le passage de l'eau d'une cellule dans une autre est l'eau d'imbibition ; que ce mouvement se produit aussi bien par des différences de pression qu'une simple filtration, mais qu'il faut pour cela éviter la formation de ménisques d'eau infiniment petits, intermoléculaires, à la surface de la matière gonflée, et que le contact de l'air, même momentané, empêche absolument le passage de l'eau.

Le terme de filtration, employé improprement par M. Bœhm, parce qu'il n'y a pas de terme exprimant l'action du passage de l'eau à l'état d'imbibition à travers une membrane, doit être remplacé par un autre, ou tout au moins compris dans le sens spécial qui lui convient.

Rien n'oblige à admettre l'existence du double mouvement, l'un de filtration, l'autre d'imbibition, que M. Sachs décrit. Il n'y aurait dans tous les cas que deux choses, le mouvement de l'eau d'imbibition dans le sens perpendiculaire à la membrane, et le mouvement dans le sens parallèle.

Si l'on parvient à prouver qu'une membrane imbibée, tendue dans le tube horizontal qui relie deux vases communicants remplis d'eau, n'empêche pas l'équilibre de pression de s'établir, la théorie d'imbibition de M. Sachs devra être abandonnée, car on ne pourra plus comprendre pourquoi l'échafaudage des membranes cellulaires va chercher l'eau jusqu'aux racines, quand il en trouve à sa portée dans les cellules des parties les plus élevées de l'arbre.

M. Sachs pense probablement que la partie lignifiée seule des parois cellulaires conduit l'eau d'imbibition, et que les parties purement cellulosiennes constituent en quelque sorte un vernis qui les sépare de l'eau liquide contenue dans les cellules ; mais il est impossible d'attribuer à la cellulose un tel degré d'imperméabilité.

Je ne suis enfin pas bien sûr que l'eau d'imbibition contenue dans cet échafaudage ne pèse rien, et que la force moléculaire

dont parle M. Sachs ne soit pas diminuée de la hauteur de la colonne d'eau, tout comme la capillarité, qui est aussi une force moléculaire.

Il est enfin fort possible qu'il y ait une relation entre la pression de l'air enfermé dans le bois à la base de la plante et la hauteur à laquelle peuvent atteindre les végétaux ligneux (1).

(1) Ce mémoire a été écrit au mois de novembre 1883. L'auteur n'a donc pu tenir compte d'aucun des importants travaux qui ont paru depuis cette époque, dus à MM. Westermaier, Scheit et Dufour.

NOUVELLES OBSERVATIONS

SUR LES

ZYGOSPORES DES MUCORINÉES

Par M. BAINIER.

Dans ma dernière publication (1), j'ai indiqué les conditions nécessaires à réaliser pour obtenir chez les Mucorinées la production des zygospores ; je prenais par le fait même l'engagement d'en obtenir de nouveau. Mais avant de donner le résultat de mes nouvelles recherches sur ce sujet, je désire ajouter quelque chose à l'étude du ferment sphérique. Après avoir décrit son mode de formation aux dépens d'un filament cloisonné qui se désarticule, je vais essayer de montrer la cause de cette singulière production.

Lorsqu'on sème une spore d'un grand Mucor, du *Phycomyces nitens* par exemple, dans une goutte de décoction de pruneaux, on la voit, au bout de quelques heures, se gonfler, germer et émettre des filaments mycéliens. Les courants de protoplasma sont d'abord presque insensibles ; ils ne deviennent nettement visibles que lorsque des filaments se dressent au-dessus de la surface du liquide. Alors on constate de nombreux courants entremêlés, qui ont chacun pour centre d'attraction un filament dressé. On sait que les gros Mucors en pleine végétation, et dans les grandes cultures, éliminent une notable quantité de vapeur d'eau, que l'on voit former de grosses gouttes sur les parois froides du récipient où se fait la culture, ou se condenser le long des filaments eux-mêmes. Il se fait un appel continu du liquide, qui détermine le cheminement des granules de protoplasma et des gouttelettes huileuses vers les extrémités aériennes. Il y a avidité pour

(1) Bainier, *Observations sur les zygospores des Mucorinées* (*Ann. sc. nat.*, 6e série, 1883, t. XV, p. 342).

l'eau de la substance renfermée dans les filaments aériens et évaporation au contact de l'air. L'avidité pour l'eau peut être démontrée en arrachant avec une pince une jeune touffe de Mucorinée, *Rhizopus* ou *Circinella* par exemple. Si l'on vient à la mouiller avec une goutte d'acide acétique et qu'on ajoute de l'eau, on voit ordinairement le protoplasma se gonfler au point de sortir avec violence par les extrémités déchirées des filaments. Chez les *Pilobolus* et les *Pilaira*, cet appel d'eau détermine des renflements au-dessous de la columelle. Quant à l'évaporation, tout dans les Mucors semble merveilleusement la favoriser, puisque ce sont de longs tubes à parois infiniment minces et isolés les uns des autres. De plus ces tubes jouissent de la propriété d'être attirés par la lumière qui, dans la nature, accompagne ordinairement la chaleur.

Si l'on sème sur la goutte de décoction de pruneaux une spore d'un Mucor produisant le ferment sphérique, du *Mucor circinelloides* de préférence, les choses se passent très différemment. La spore se gonfle, germe, mais donne d'abord naissance à des globules et à des filaments toruleux du ferment sphérique ; puis ce ferment s'allonge et donne le mycélium ordinaire des Mucors. Le liquide se remplit de filaments, et des tubes dressés prennent naissance pour supporter bientôt les sporanges.

Si l'on cultive maintenant ce même *Mucor circinelloides* dans une solution étendue de glycose, de sucre interverti, et mieux dans une solution de 40 à 50 grammes de dextrine pour un litre d'eau, en ayant soin de boucher le flacon où se fait l'expérience avec un simple tampon de coton, on remarque que les spores tombent au fond du liquide, et si, au bout de huit jours, on examine le dépôt floconneux qui tapisse le fond du vase, on y trouve presque exclusivement du ferment sphérique.

Enfin si, dans les mêmes conditions, on remplace la solution étendue par une solution concentrée, de manière que les spores surnagent, grâce à leur faible densité, au bout de huit jours on reconnaît qu'il n'y a presque rien que des fila-

ments mycéliens et des tubes sporangifères. Dans le cas où la solution ne serait pas suffisamment concentrée, on pourrait trouver du ferment sphérique, mais seulement dans les couches profondes.

De toutes ces expériences, il est facile de conclure que la formation du ferment sphérique peut être attribuée à l'une des deux causes suivantes : soit la privation d'oxygène, si l'on admet que les Mucors respirent ; soit, et j'incline davantage vers cette opinion, l'état stationnaire du protoplasma par suite de l'impossibilité dans laquelle se trouvent ces plantes de céder de la vapeur d'eau à une atmosphère susceptible d'en dissoudre pour déterminer un appel de liquide nouveau, et par suite une sorte de courant. Dans d'autres circonstances, lorsqu'il se produit un arrêt de courant protoplasmique à la maturité des sporanges ou après une blessure accidentelle, le protoplasma se condense sur place et détermine des cloisons. On peut admettre de même qu'au sein d'un liquide le mouvement du protoplasma n'existe que dans les solutions riches en principes nutritifs par suite de l'allongement rapide des filaments mycéliens, mais que bientôt la liqueur s'appauvrit et des cloisons se forment aux dépens du protoplasma stationnaire qui travaille sur place, les filaments ne prenant qu'un très lent accroissement.

Cette théorie peut-elle s'appliquer aux ferments ordinaires? Il y a un fait bien connu. Lorsque les *Saccharomyces* exposent à l'air, c'est-à-dire à l'évaporation, une surface maximum, quand on les dépose en couche mince sur une substance légèrement humide, leurs globules prennent un très grand accroissement et se transforment en filaments plus ou moins allongés ; de plus ils produisent, dans ces conditions, des spores durables.

Il est évident que la sécheresse peut également déterminer l'état de repos (adynamique) du protoplasma, et par suite l'état toruleux de filaments renfermant une substance moins avide d'eau que celle qui est contenue dans les tubes des Mucors. Ce phénomène se présente dans les filaments dressés

des *Saccharomyces* qui, *exclusivement* exposés à l'air, deviennent des *Torula;* chez le *Nematogonum aurantiacum*, dont les cellules se disjoignent au niveau des cloisons en se renflant; enfin chez beaucoup de plantes. Il faut un contact avec une surface humide et un contact avec l'atmosphère pour que, par l'évaporation, le protoplasma soit mécaniquement entraîné.

Les Mucors qui déterminent la fermentation alcoolique présentent un intérêt capital à cause du rôle qu'ils peuvent jouer à un moment donné dans l'industrie. C'est pourquoi je les ai choisis comme objet de cette étude.

J'ai déjà fait connaître une espèce nouvelle, le *Mucor tenuis*, qui ne possède que des azygospores rougeâtres, et diverses variétés du *Mucor racemosus*. Les zygospores de toutes les variétés de *Mucor racemosus*, dont la taille peut varier dans la proportion de 1 à 4 à la maturité, sont rougeâtres (pl. 8, fig. 1). Leur membrane externe est recouverte d'aspérités spéciales; on voit d'abord un grand nombre de très petits épaississements locaux imitant des plaques plus ou moins carrées séparées par des lignes plus claires; puis ces plaques se réunissent plus ou moins et, à la maturité, les proéminences qui hérissent la zygospore sont formées de plusieurs de ces plaques rapprochées.

Je vais décrire maintenant les zygospores de plusieurs espèces de *Mucor* voisines du *Mucor racemosus*.

MUCOR SPINOSUS Van Tieghem.

(Planche 7, fig. 1-8.)

Le *Mucor spinosus* se distingue au premier coup d'œil par ses sporanges, qui paraissent complètement noirs. Au microscope, on reconnaît que leur membrane est hérissée de fines aiguilles (1). A la maturité, cette membrane se désagrège et les aiguilles sont mises en liberté; souvent elles restent adhérentes aux spores sous-jacentes. Ces spores mesurent $0^{mm},0084$; elles

(1) Depuis la rédaction de ce mémoire, j'ai trouvé une variété de *Mucor spinosus* dont la membrane des sporanges est constamment lisse ou à peine grenue.

ont une teinte bistre ou brun chocolat; leur surface est comme grenue; elles sont sphériques. La columelle, de couleur jaunâtre, comme du reste toute la plante, présente une particularité fort remarquable : ce sont des prolongements qui tantôt forment une couronne au sommet, tantôt n'existent que d'un côté seulement, tantôt recouvrent toute la surface, tantôt enfin donnent à la partie supérieure de la columelle une forme pointue ou carrée. Ces prolongements peuvent se terminer en pointe aiguë, ou bien après un étranglement se dilater en forme de bouton. Ils n'existent pas sur les jeunes columelles. Le *Mucor spinosus* est ramifié, mais son mode de ramification est peu varié. La branche principale peut être la plus courte, et alors indéfiniment, à une petite distance au-dessous du sporange, naît à angle aigu et d'un seul côté une nouvelle branche qui dépasse la première et se comporte comme elle; ou bien la branche principale est de beaucoup la plus longue, et de sa partie iférieure naît d'un seul côté une branche qui se ramifie d'après le mode indiqué plus haut. Les supports sont ordinairement droits, mais ils peuvent être aussi légèrement courbés.

Les tubes sporangifères sont cloisonnés. La cloison se produit un peu au-dessus du point où une nouvelle branche prend naissance. Ils renferment souvent des chlamydospores.

Les zygospores du *Mucor spinosus* n'ont pas encore été signalées : je les ai obtenues, cet été, pendant le mois d'août, sur la décoction alcoolique de poires et de prunes; elles ne se produisent pas pendant l'hiver.

Ces zygospores, jaunes ou brunâtres, ont leur membrane externe recouverte d'épaississements en forme de plaques, dont chacune forme à la maturité une éminence pointue.

Lorsqu'on sème sur une goutte de décoction alcoolique de poires ou de prunes un sporange de *Mucor spinosus*, il peut arriver que la goutte s'étale; les spores, dans ce cas, germent et donnent directement un tube fructifère avec un mycélium rudimentaire. Si la goutte est restée hémisphérique, la formation du ferment sphérique précède le mycélium et les spo-

ranges. La fermentation alcoolique obtenue par le ***Mucor spinosus*** a été étudiée avec soin ; je me contenterai de donner dans la planche les formes ordinaires du ferment sphérique.

MUCOR CIRCINELLOIDES Van Tieghem.

(Pl. 7, fig. 8-15.)

Le *Mucor circinelloides* forme ses zygospores sur le crottin de cheval. Dans l'emploi de ce substratum, il y a quelques précautions à prendre.

Le crottin de cheval est, comme on sait, le refuge d'une foule de germes de plantes ; mais il contient en outre les œufs d'un grand nombre d'animaux inférieurs, et parmi ces derniers les Helminthes sont les plus incommodes et les plus dangereux ; notamment les Oxyures peuvent s'y propager et déterminer chez les personnes qui se livrent à la culture des plantes microscopiques des maladies fort désagréables.

Pour remédier à cet inconvénient, il est bon de n'employer cette substance qu'après l'avoir laissée quelques heures en contact avec une petite quantité de sulfure de carbone : les animaux inférieurs sont rapidement détruits; puis, quelques heures d'exposition à l'air dans un cristallisoir simplement recouvert d'un disque de verre suffisent pour permettre au sulfure de carbone de s'évaporer. Le contact, même très court, du sulfure de carbone, empêche la germination des spores possédant une membrane mince et renfermant des gouttelettes d'huile, comme celles des *Pilobolus*, etc.

Si maintenant on veut détruire les germes des végétaux inférieurs, il suffit d'enfermer le crottin de cheval dans des bocaux ; on verse le sulfure de carbone, et l'on bouche avec un liège qu'on recouvre d'abord de collodion, puis de cire à cacheter. Les spores, au contact de l'eau et du sulfure de carbone, ne conservent pas longtemps leur faculté germinative; toute fermentation est arrêtée. D'ailleurs on peut laisser les choses en cet état pendant six mois ou un an. Lorsqu'on a jugé bon d'employer la substance, on remplace le bouchon de liège par

un tampon de coton et l'on expose un jour à l'air. Passé ce temps, l'on peut ensemencer, et si on a la bonne fortune de ne déposer que les spores d'une seule espèce, on obtient des cultures d'une remarquable pureté.

Le *Mucor circinelloides* est un très petit Mucor qui donne au pain sur lequel on le cultive une teinte grisâtre foncée. Les sporanges sont entourés d'une membrane lisse ou finement grenue. Les spores sont rondes et presque incolores. La columelle adhère au sporange par sa partie inférieure, elle est un peu hémisphérique. Le support est souvent circiné; c'est lui qui a valu son nom à la plante. Il porte des ramifications unilatérales et irrégulières. Le plus souvent une branche secondaire naît plus ou moins loin au-dessous d'un sporange, de manière que le premier sporange formé est toujours plus bas que ceux qui lui succèdent. Souvent les tubes fructifères naissent immédiatement au-dessous des sporanges, qui demeurent sessiles.

Le *Mucor circinelloides*, comme on sait, se met facilement en boule et devient ferment sphérique; mais il ne faut pas croire que la présence de ce ferment soit nécessairement liée avec la production de l'alcool. Cet hiver, j'ai cultivé pendant un mois ce ferment dans une solution de dextrine, sans obtenir pour cela de traces d'alcool appréciables par la distillation. En présence du glycose, il y a production d'alcool et formation du ferment; mais, avec une autre substance, il peut y avoir ferment sans production d'alcool.

Le *Mucor circinelloides* se cultive très aisément dans la décoction de malt, la décoction de pruneaux; il donne des sporanges et des chlamydospores, mais je n'ai pu obtenir encore de zygospores dans ces conditions. Il est vrai que je n'ai continué la culture que pendant quelques semaines.

Les zygospores se forment dans les retraites humides, au fond d'un cristallisoir, sous la couche de crottin de cheval où se fait la culture. On est averti de leur présence : on aperçoit par transparence de petites masses blanches de filaments

faciles à reconnaître. Les zygospores se trouvent dans ces masses.

Ces zygospores sont rouges et munies de longues saillies pointues. Ces saillies diffèrent de celles que l'on remarque sur les zygospores du *Mucor racemosus* et du *Mucor spinosus*. Elles ont l'aspect qu'on obtiendrait si, avec une pince fine, on soulevait une membrane mince, une couche de collodion, par exemple, étalée sur un liquide. Il y a un sommet très pointu d'où descendent tout autour des rides, des sortes d'épaississements qui diminuent graduellement. Vues de face, ces saillies ont la forme d'étoiles plus sombres que le reste de l'enveloppe.

Le *Mucor circinelloides* a déjà été étudié plusieurs fois par M. Van Tieghem et par M. Gayon, mais on n'avait pas encore obtenu ses zygospores.

MUCOR ERECTUS (espèce nouvelle).

(Pl. 8, fig. 2-11.)

Les *Mucor* forment un genre extrêmement nombreux, mais les espèces sont difficiles à distinguer nettement les unes des autres, les sporanges étant construits sur le même type. Aussi l'étude distinctive de chacune d'elles demande-t-elle un soin minutieux. Heureusement la méthode que j'ai décrite dans ma précédente publication permet d'obtenir aisément les zygospores, qui donnent des caractères très nets et très tranchés.

Le *Mucor erectus* a tout à fait le port du *Mucor tenuis* et du *Mucor racemosus*, mais il se distingue aisément de l'un et de l'autre. Les sporanges, très petits, ont une membrane lisse. Les spores sont ovales et ne mesurent que $0^{mm},0042$ sur $0^{mm},0021$. La columelle est analogue à celle du *Mucor racemosus;* son diamètre est d'environ cinq fois une spore, $0^{mm},0105$, mais souvent un peu plus développée; elle est ordinairement sphérique, portant à sa base une petite collerette, vestige de la membrane du sporange. Le support porte le

même genre de ramifications que le *Mucor racemosus*. Le sporange mesure environ 0^{mm},0210.

Le ferment sphérique du *Mucor erectus* est ordinairement plus arrondi que celui des espèces précédentes. Il présente souvent un double contour et le bourgeonnement peut se voir aussi bien que sur un *Saccharomyces*.

Le mycélium est formé de filaments réguliers renfermant des gouttelettes d'apparence d'huile presque incolore et de nombreuses vacuoles. Les chlamydospores sont nettement recouvertes de petites aspérités.

La culture dans une goutte de jus de pruneaux donne constamment, en hiver et au printemps, de très nombreuses zygospores. Mais, tandis que chez le *Mucor tenuis* on ne trouve que des azygospores isolées, chez le *Mucor racemosus* presque exclusivement des zygospores, cette plante au contraire donne presque autant de doubles azygospores que de zygospores. Souvent même une des deux azygospores reste rudimentaire. D'autres fois deux de ces organes de reproduction ne se soudent que lorsqu'ils sont déjà volumineux.

Les zygospores et les azygospores ont la même apparence. Leur membrane externe est rougeâtre, comme celle des plantes que nous avons vues jusqu'ici, mais les proéminences saillantes sont moins pointues que celles du *Mucor circinelloides*, avec lesquelles cependant elles ont une certaine analogie. Leur projection, vue de face, dessine des sortes d'étoiles irrégulières formées par des épaississements colorés.

MUCOR FRAGILIS (espèce nouvelle).

(Pl. 8, fig. 12-17.)

Il s'agit encore ici d'un petit Mucor très commun, ramifié, donnant le ferment sphérique et transformant les matières sucrées en alcool. J'ai trouvé cette plante pour la première fois sur de la farine de Lin mouillée. On la distingue facilement à cause de ses petits sporanges noirâtres. Mais cette couleur des sporanges, vus au microscope, n'est pas la même que

celle de la variété du *Mucor racemosus* dont j'ai parlé. Les spores de *Mucor racemosus* sont jaunâtres, tandis que les spores du *Mucor fragilis* sont nettement bleuâtres.

Le sporange n'offre pas de différence avec celui du Mucor précédent. La columelle cependant est plus aplatie, elle s'insère un peu au-dessus du point où le sporange s'attache au filament. Les spores bleuâtres sont ovales et de même dimension que dans l'espèce précédente.

Les zygospores s'obtiennent avec la plus grande facilité en hiver et au printemps sur la décoction de pruneaux; la culture devient littéralement noire au bout de huit jours. Elles distinguent très nettement cette espèce, car elles sont noires. Leur membrane externe est d'abord recouverte de plaques noires, très légèrement déchiquetées sur les bords et de forme polyédrique; de sorte qu'elles sont séparées par des lignes claires. Puis, à la maturité, elles sont complètement noires. De chaque côté de la zygospore, comme du reste dans les espèces précédentes, peut se trouver un anneau sombre séparé par une cloison des deux suspenseurs.

Le ferment sphérique de cette espèce ne présente rien de particulier.

MUCOR MOLLIS (espèce nouvelle).

(Pl. 8, fig. 18-21.)

Le *Mucor mollis* est un grand Mucor à filaments relativement larges, portant une, deux ou trois longues branches. Ces tubes se rétrécissent un peu pour l'insertion du sporange. Celui-ci possède une membrane lisse et est rempli de petites spores ovales de mêmes dimensions que les précédentes. Son diamètre est bien plus grand que celui du *Mucor fragilis*. Sa columelle est largement assise dans le sporange, c'est-à-dire qu'elle s'insère dans le renflement beaucoup plus haut que le point où celui-ci s'attache au filament.

Les zygospores sont noires; mais, bien qu'elles soient garnies de petites plaques épaissies, on les distingue aisément

des précédentes. En effet, ces petites plaques isolées les unes des autres sont cependant groupées par ilots largement séparés. Dans chacun de ces ilots, les parties en regard les unes des autres sont un peu plus noires, tandis que celles qui se rapprochent des espaces libres sont quelquefois très claires à leur limite extrême. A la maturité, la couleur noire envahit toute la surface.

Il me resterait bien à parler de deux espèces nouvelles possédant des zygospores noires : l'une, le *Mucor tristis*, ayant un sporange très noir et des zygospores dont les suspenseurs portent des prolongements en doigts de gant ; l'autre, le *Mucor modestus*, ayant un sporange incolore et des zygospores noires garnies de saillies à lignes rayonnantes ; mais je n'ai pas encore terminé leur étude. Je n'ai obtenu que deux ou trois fois leurs zygospores.

CHÆTOCLADIUM BREFELDII (Van Tieghem).

(Pl. 9, fig. 1-10.)

Les espèces de Mucors sont extrêmement nombreuses ; aussi m'est-il arrivé, dans deux cultures différentes de plantes que je croyais les mêmes, d'obtenir des zygospores faciles à distinguer.

Le *Chætocladium Brefeldii*, on le sait, se compose de filaments portant des verticilles fructifères fort remarquables. Une tige principale, après s'être développée convenablement, se renfle un peu à son extrémité, qui devient comme tuberculeuse, par suite des bourgeons qui s'y forment. Ces bourgeons sont de nombre variable, souvent cinq, dont quatre latéraux et un terminal, qui continue à s'accroître, soit en une longue pointe, soit en une tige qui portera plus tard un nouveau verticille. Les quatre bourgeons latéraux se développent de la même manière. Chacun d'eux s'allonge un peu, puis se renfle à son tour en une sorte de massue irrégulière présentant quatre ou cinq nodosités, dont une terminale qui devient une longue pointe. Les nodosités latérales prennent de l'extension

et se terminent par des mamelons de forme irrégulière et sur lesquels les spores se produisent simultanément chacune dans un sporange porté par un petit pédicelle. Bientôt chaque mamelon, d'abord globuleux, se modifie à son tour et prend un aspect différent ; il se produit une pointe au sommet, et trois ou quatre bras latéraux sur lesquels se trouvent les spores à la maturité. Lorsque les spores se sont détachées, les ramifications diverses, munies à chaque étage d'une longue pointe, forment un ensemble qui paraît très compliqué.

Les spores du *Chætocladium Brefeldii* sont presque incolores et mesurent 0mm,0045. Le froid possède une singulière propriété, il les rend roses. Beaucoup d'autres Mucorinées du reste présentent le même phénomène.

Correspondant à ces caractères, j'ai cultivé deux plantes qui m'ont donné, l'une des zygospores pâles, jaunâtres, avec des stries irrégulières, fines et nombreuses, et des suspenseurs extrêmement délicats ; l'autre, à suspenseurs se déformant moins, à zygospores brunes, garnies de stries irrégulières, mais plus épaisses et moins nombreuses. A part ces différences, les zygospores sont construites sur le même type. Au début, elles se comportent comme celles des petits Mucors. Deux ampoules se gonflent vis-à-vis l'une de l'autre ; la partie médiane se sépare par une cloison de chaque côté, et se garnit de lignes irrégulières. A ce moment, les ampoules se gonflent irrégulièrement sur les côtés. Bientôt on voit de grosses bosses, tantôt deux, tantôt en plus grand nombre. Ces bosses peuvent être volumineuses et étranglées à la base ; d'autres fois, elles se terminent simplement en pointe. Sur ces bosses, peuvent encore naître des sortes de pointes qui deviennent des filaments aériens.

Le *Chætocladium*, en présence de divers Mucors, produit des tubercules qui naissent irrégulièrement soit au point de contact, soit sur les filaments eux-mêmes. Cultivé dans une goutte de solution très nutritive, il peut donner ces tubercules dans ses filaments mycéliens. Si l'on étudie le mode de parasitisme, on voit le filament du *Chætocladium*, d'abord de

diamètre sensiblement égal, se renfler au point de contact avec le filament étranger, puis présenter des nodosités. Il se fait des sortes de boules qui embrassent le tube du Mucor. Les membranes juxtaposées se résorbent de telle façon que le filament chætocladien paraît être une ramification du tube du Mucor. Des ampoules se forment alors indistinctement sur l'un ou l'autre au point de soudure et peuvent déterminer la production d'une masse volumineuse.

Un autre mode de parasitisme existe chez un Mucor différent, le *Mucor parasiticus*, espèce nouvelle que j'ai découverte trop tard pour qu'elle puisse figurer dans cette communication. Dans cette plante, le parasitisme s'établit ainsi : Une ampoule volumineuse ovale se forme soit à l'extrémité, soit au milieu d'un filament ; arrivée au contact du filament étranger celui-ci se modifie à son tour et envoie des prolongements latéraux allongés en forme de doigts ou de main, qui saisissent l'ampoule en s'appliquant sur sa surface.

Le *Mucor parasiticus* possède la propriété curieuse de donner très difficilement ses sporanges, aussi m'est-il arrivé de confondre longtemps ses filaments avec ceux du *Chætocladium*. C'est même pour cette raison que la planche 9 se trouve posséder la figure 11.

Je reviendrai dans une prochaine publication sur cette espèce, dont le mode de végétation est très remarquable.

Je n'ai pas à m'étendre sur cette plante, bien connue aujourd'hui et qui a été étudiée déjà un grand nombre de fois, par M. Brefeld, qui le premier en a obtenu les zygospores, et par M. Van Tieghem.

THAMNIDIUM ELEGANS (Corda).

(Pl. 10, fig. 1-9.)

Cette plante a été étudiée tant de fois, que tout le monde a présente à l'esprit la forme gracieuse qu'elle revêt. Je rappellerai seulement en quelques mots sa configuration générale.

On sait que c'est un Mucor hétérosporangié. Le gros spo-

range est assez semblable à celui du *Mucor Mucedo*, mais le support diffère davantage; il porte de longues branches latérales lorsque, cultivé sur la peptone, par exemple, il n'a que très peu de dichotomies.

Les fructifications nées à l'extrémité des dichotomies sont trop connues pour que je les mentionne. Je me contenterai de représenter dans la planche 10, fig. 2, le quart d'un verticille très jeune, au début même de la formation des sporanges.

Le mycélium diffère beaucoup de celui du *Mucor racemosus*. Il ne présente pas de filaments sensiblement égaux et brusquement terminés. Lorsqu'on peut le cultiver à l'aide d'une spore bien isolée, de façon que le mycélium puisse prendre un développement convenable, on remarque des filaments principaux qui diminuent insensiblement de diamètre, et de chaque côté des radicules secondaires, que l'on peut comparer à des sortes de mains; à peu de distance de leur origine, ces radicules augmentent considérablement de diamètre, puis se terminent par des filaments très ténus. Dans certaines conditions, ces filaments ténus disparaissent et le mycélium devient boursouflé; il se forme des cloisons, des sphères se détachent et on obtient une certaine analogie avec le ferment sphérique.

Les zygospores du *Thamnidium* s'obtiennent vers le même moment que celles du *Chætocladium;* dans les cultures pures, aux mois de mai et juin. Je les ai obtenues en très grande abondance et sur des filaments portant des dichotomies, ce qui leur donnait un caractère d'authenticité indiscutable. Ces zygospores se produisent, comme celles du *Mucor racemosus*, bien au-dessus du substratum; il faut donc, pour les obtenir, cultiver le *Thamidium* dans des boîtes en plâtre spéciales, permettant la culture en grand et empêchant les filaments dressés de se dessécher trop rapidement. Elles s'étagent les unes au-dessus des autres, comme les barreaux d'une échelle. A leur début, elles sont recouvertes de petites plaques noires séparées les unes des autres; bientôt la couleur noire envahit toute la surface extérieure d'une couche épaisse. Cette sub-

stance noire, à la maturité, se dissout dans les gouttelettes d'eau qui se condensent le long des filaments, et bientôt on a de larges plaques noires qui salissent les tubes fructifères, car cette substance sèche et devient insoluble. Les ampoules prennent une teinte jaunâtre, et la membrane des filaments s'incruste de petits cristaux. Lorsqu'on vient à enlever son enveloppe noire et épaisse, la zygospore présente une couleur jaune.

EXPLICATION DES FIGURES

PLANCHE 7.

Les zygospores sont dessinées partout au même grossissement.

Mucor spinosus.

Fig. 1. Ramifications du *Mucor spinosus*.
Fig. 2. Spores du *Mucor*. Des cristaux qui hérissaient la membrane du sporange sont restés adhérents à leur surface.
Fig. 3. Jeune sporange encore incolore.
Fig. 4. Columelle adulte garnie des épines ou excroissances caractéristiques.
Fig. 5. Chlamydospore et débuts de conjugaison qui, dans des cas tout à fait exceptionnels, peut s'effectuer entre deux cellules du même filament.
Fig. 6. Zygospores à différents âges.
Fig. 7. Spore germant dans une goutte étalée de décoction de prunes et produisant directement un filament sporangifère.
Fig. 8. Spores germant dans une goutte hémisphérique de la même décoction et donnant la forme bourgeonnante (ferment).

Mucor circinelloides.

Fig. 9. Spore du *Mucor circinelloides*.
Fig. 10. Columelle.
Fig. 11. Ramification du Mucor.
Fig. 12. Sporange.
Fig. 13. Début d'une conjugaison.
Fig. 14. Zygospore adulte.
Fig. 15. Forme bourgeonnante (ferment).

PLANCHE 8.

Fig. 1. *Mucor racemosus* (zygospore jeune).
Fig. 2-3. *Mucor erectus*. — 2. Sporange.
— 3. Spore.
— 4. Columelle.
— 5. Début d'une zygospore.
— 6. Zygospore mûre.
— 7. Azygospore unique.
— 8. Deux azygospores en regard.
— 9. Filament de mycélium avec gouttes d'huile et vacuoles.
— 10. Chlamydospore échinulée.
— 11. Ferment sphérique en voie de développement.
Fig. 12-17. *Mucor fragilis*. — 12. Sporange.
— 13. Spore.
— 14. Columelle.
— 15. Zygospore, près de laquelle se trouve une chlamydospore.
— 16. Zygospore plus jeune.
— 17. Ferment sphérique.
Fig. 18-21. *Mucor mollis*. — 18. Port de la plante.
— 19. Sporange.
— 20. Columelle.
— 21. Zygospore.

PLANCHE 9.

Chætocladium Brefeldii.

Fig. 1. Rameau très jeune au moment où les sporanges commencent à se former.
Fig. 2. Extrémité d'un rameau plus avancé en âge que le précédent.
Fig. 3. Rameau après la chute des sporanges.
Fig. 4. Tubercule de *Chætocladium*.
Fig. 5. Jeune zygospore.
Fig. 6. Zygospore plus âgée.
Fig. 7. Suspenseur d'une zygospore.
Fig. 8. Zygospore mûre. — Variété brune.
Fig. 9. Zygospore mûre. — Variété jaune.
Fig. 10. Coupe d'une zygospore. — Variété jaune.
Fig. 11. Tubercules du *Mucor parasiticus*.

PLANCHE 10.

Thamnidium elegans.

Fig. 1. Aspect général de la plante hétérosporangiée.
Fig. 2. Le quart d'un groupe de petits sporanges très jeunes.

Fig. 3. Extrémité d'une ramification de petits sporanges adultes.

Fig. 4. Ramification du mycélium normal.

Fig. 5. Forme bourgeonnante du mycélium.

Fig. 6. Zygospore née sur un filament hétérosporangié.

Fig. 7. Zygospores à divers états, nées sur des filaments dressés et laissant exsuder une matière noire.

Fig. 8. Zygospore peu âgée. La cuticularisation se fait par places sur des points espacés les uns des autres.

Fig. 9. Zygospore dont la membrane externe est déchirée et permet de voir la membrane interne.

RECHERCHES

SUR LA

RESPIRATION DES FEUILLES

A L'OBSCURITÉ

Par MM. Gaston BONNIER et Louis MANGIN.

INTRODUCTION.

On admet souvent, d'après les travaux récents sur la respiration des êtres vivants, que, pour un végétal à un état de développement déterminé, il n'y a pas de corrélation entre l'oxygène absorbé et l'acide carbonique émis. La variation la plus remarquable qu'on ait signalée dans ces échanges gazeux est celle relative à l'influence de la température; c'est ainsi qu'on enseigne ordinairement que le rapport du volume du gaz émis à celui du gaz absorbé, dans la respiration, est variable avec la température. Pour les basses températures, chez les plantes respirant à l'obscurité, par exemple, le rapport du volume de l'acide carbonique émis à celui de l'oxygène absorbé serait plus petit que l'unité; il deviendrait égal à l'unité pour une certaine température, et supérieur à l'unité pour des températures plus élevées. D'où cette conséquence, entre autres, que les plantes, par leur respiration, assimilent de l'oxygène dans les régions froides, et perdent au contraire à la fois de l'oxygène et du carbone dans les contrées chaudes, et cela indépendamment de l'action chlorophyllienne des parties vertes à la lumière.

Dans les études que nous avons faites précédemment sur les fonctions des Champignons (1) et sur la respiration des tissus

(1) G. Bonnier et L. Mangin, *Recherches sur la respiration et la transpiration des Champignons* (*Ann. Sc. nat.*, 6e série, t. XVII, p. 210).

sans chlorophylle (1) nous avons montré que cette loi ne peut s'appliquer aux végétaux ou aux organes dépourvus de matière verte et que la valeur du rapport $\frac{CO^2}{O}$ du volume de l'acide carbonique émis à celui de l'oxygène absorbé est constante, quelle que soit la température.

Mais comme la loi citée plus haut a été établie surtout pour les feuilles respirant à l'obscurité, nous nous sommes demandé si le résultat que nous avions obtenu serait le même en opérant sur les parties vertes des plantes ainsi soustraites à l'action chlorophyllienne. Comme, d'autre part, l'étude de la respiration des organes verts nous est indispensable pour les recherches que nous avons entreprises, nous avons été amenés à faire une étude détaillée de la respiration des feuilles.

I. — APERÇU HISTORIQUE. CRITIQUE DES RÉSULTATS ACQUIS.

L'examen de la fonction respiratoire dans les feuilles exposées à l'obscurité a attiré, depuis longtemps, l'attention des physiologistes. Nous ne pouvons rendre compte en détail de toutes les expériences classiques d'Ingen-Housz, de de Saussure, de M. Garreau, ou des expériences plus récentes de MM. de Fauconpret, Wolkoff et Mayer, Borodine, etc., dont nous avons donné les résultats principaux dans un autre mémoire (2).

Parmi les nombreuses recherches entreprises sur cette importante question, celles de MM. Dehérain et Moissan (3), et de M. Moissan seul (4), sollicitent principalement notre attention, car les conclusions formulées par ces auteurs et acceptées par la plupart des physiologistes, se trouvent en désaccord avec les résultats de nos premières recherches.

(1) G. Bonnier et L. Mangin, *Recherches sur la respiration des tissus sans chlorophylle* (*Ann. Sc. nat.*, 6e série, t. XVIII, p. 293).

(2) Voy. *Ann. sc. nat.*, 6e série, t. XVII, p. 210.

(3) Dehérain et Moissan, *Recherches sur la respiration des feuilles* (*Ann. sc. nat.*), 5e série, t. XIX, p. 329, 1874).

(4) Moissan, *Sur les volumes d'oxygène absorbé et d'acide carbonique émis dans la respiration végétale* (*Ann. sc. nat.*, 6e série, 1879).

Examinons donc ces conclusions et voyons les faits qui ont servi à les édifier.

Dans le premier mémoire, fait en commun par MM. Dehérain et Moissan, on trouve parmi les résultats acquis, le suivant :

« La quantité d'oxygène absorbé par les feuilles surpasse la quantité d'acide carbonique produit ; la différence est surtout sensible aux basses températures, qui paraissent favoriser dans les plantes la formation de produits incomplètement oxydés, tels que les acides végétaux. »

Puis M. Moissan, utilisant dans un second travail, outre ses recherches personnelles, les résultats du mémoire fait en commun avec M. Dehérain, conclut ainsi :

« L'émission de l'acide carbonique dans la respiration végétale n'est point directement liée à l'absorption d'oxygène.

» En général, à basse température, il y a plus d'oxygène absorbé que d'acide carbonique émis. Il existe pour les végétaux une température, variable avec l'espèce, pour laquelle le volume d'oxygène est, à peu de chose près, remplacé par un égal volume d'acide carbonique. Si l'on dépasse cette température, la production de l'acide carbonique surpasse l'absorption de l'oxygène. »

Ces conclusions, souvent reproduites, ont été signalées, dans ces derniers temps, soit pour affirmer l'indépendance du dégagement d'acide carbonique et de l'absorption d'oxygène, soit pour expliquer les phénomènes d'oxydation qui s'accomplissent au sein du protoplasma.

Examinons maintenant les expériences qui ont amené MM. Dehérain et Moissan à formuler ces importantes conclusions. Dans leurs tableaux d'expériences, ces auteurs n'ont pas fait figurer les valeurs du rapport de l'acide carbonique émis à l'oxygène absorbé ; nous avons calculé ces valeurs d'après les chiffres inscrits dans leur mémoire et nous donnons dans le tableau ci-dessous quelques-uns des résultats de leurs recherches.

Les nombres concernant le Pin maritime, le Tabac et le *Ficus* sont tirés du mémoire de MM. Dehérain et Moissan; ceux qui concernent le Marronnier ont été établis par M. Moissan dans un mémoire ultérieur.

ESPÈCES ÉTUDIÉES.	TEMPÉRATURE.	DURÉE.	$\frac{CO^2}{O}$	SÉRIE D'EXPÉRIENCES.
Pin maritime. (D'après MM. Dehérain et Moissan.)	0°	24h	0,50	N° 59
	0°	164h	0,68	N° 60
	7°	22h	1,10	N° 61
	12°	70h	1,38	N° 54
	13°	22h	0,77	N° 52
	13°	47h	0,91	N° 53
	13°	72h	1,65	N° 56
	13°	74h	1,90	N° 57
	14°	72h	1,69	N° 55
	14°	119h	2,13	N° 58
	14°	45h	0,77	N° 62
	14°	164h	0,80	N° 63
	15°	5h	0,85	N° 50
	15°	18h	0,51	N° 51
Tabac. (D'après MM. Dehérain et Moissan.)	12°	71h	1,0	N° 69
	13°	93h	1,5	N° 70
Ficus elastica. (D'après MM. Dehérain et Moissan.)	13°	72h	1,0	N° 71
	13°	170h	1,4	N° 72
	12°	50h	0,74	N° 73
Marronnier d'Inde. (D'après M. Moissan.)	14°	28h	0,48	N° 89
	15°	48h	0,80	N° 88
	40°	2h	4,5	N° 92

Si l'on compare ces résultats à ceux qu'indiquent les conclusions rapportées plus haut, on est étonné de trouver entre eux la plus complète discordance.

Ainsi, pour la même espèce, le Pin maritime, MM. Dehérain et Moissan trouvent que le rapport $\frac{CO^2}{O}$ est le même à zéro et à 15 degrés, tandis qu'il varierait de 2,13 à 0,80 pour la température de 14 degrés. On voit également que chez le *Ficus elastica* le rapport $\frac{CO^2}{O}$ varie de 1 à 1,4 pour la même température de 13 degrés.

L'examen du tableau concernant le Pin maritime est particulièrement curieux, car en choisissant les exemples on peut en tirer des conclusions opposées à celles des auteurs. Ainsi on aurait, pour des températures graduellement croissantes (expériences n° 65, n° 53, n° 63, n° 51 du mémoire de MM. Dehérain et Moissan) les valeurs suivantes du rapport $\frac{CO^2}{O}$:

7°	1,10
13°	0,91
14°	0,80
15°	0,51

c'est-à-dire qu'au lieu d'augmenter avec la température, comme concluent MM. Dehérain et Moissan, le rapport $\frac{CO^2}{O}$, d'après leurs propres expériences, diminuerait graduellement en passant d'une température basse à une température élevée.

La discordance qui existe entre les résultats et les conclusions des travaux précédents, nous empêche donc d'accepter sans contrôle les recherches déjà publiées sur la respiration des feuilles, et justifie la vérification expérimentale que nous avons dû entreprendre.

II. — MÉTHODE ET APPAREILS.

Nos recherches sur la respiration des feuilles ont été entreprises exclusivement par la méthode de l'air confiné, méthode déjà employée par les autres expérimentateurs; mais les appareils dont nous nous sommes servis (1) nous permettent,

(1) Voy. *Ann. sc. nat.*, 6e série, t. XVII, p. 221 et pl. 17 et 18.

comme on va le voir, d'éviter les causes d'erreur inhérentes à cette méthode.

Les feuilles destinées aux expériences étaient placées, immédiatement après avoir été cueillies, dans un récipient en verre avec un thermomètre sensible. Puis ce récipient était retourné sur un cristallisoir renfermant du merçure recouvert d'une très légère couche d'eau. Un tube abducteur en communication avec l'appareil à prises pénétrait dans le récipient et permettait d'extraire à volonté une certaine quantité de l'atmosphère environnant les feuilles, pour étudier les modifications qu'elle avait subies. En analysant l'air au début et à la fin de l'expérience, après une courte durée, nous pouvions connaître les quantités d'oxygène absorbé et d'acide carbonique dégagé, exprimées en centièmes de l'atmosphère initiale.

Cette méthode ne nous donne pas, il est vrai, les quantités absolues de gaz dégagé et absorbé, mais elle suffit à nous faire connaître la valeur du rapport $\frac{CO^2}{O}$. En outre, lorsqu'il fallait comparer l'énergie de la respiration dans différentes conditions, nous nous servions toujours des mêmes individus séjournant pendant le même temps dans le même volume d'air.

En opérant ainsi, sans avoir à mesurer le volume gazeux, nous avons éliminé une première cause d'erreur qui explique en partie les résultats contradictoires qu'on avait obtenus. MM. Dehérain et Moissan mesuraient le volume gazeux de la manière suivante : une éprouvette jaugée étant remplie sur la cuve à eau d'un volume d'air déterminé, on introduisait les feuilles dans l'éprouvette en les plongeant dans l'eau. Puis, au bout d'un certain temps, les feuilles étaient retirées et le volume final était de nouveau mesuré sur la cuve à eau. Ce procédé est défectueux parce que les feuilles, au moment de l'introduction et de la sortie, entraînent avec elles des quantités variables de gaz ; ces gaz sont formés par l'air des lacunes et surtout par les bulles qui restent adhérentes à la surface des feuilles. On n'est donc pas certain d'évaluer avec précision le volume initial, ni le volume final ; dès lors

les résultats relatifs au rapport $\frac{CO^2}{O}$ sont entachés d'erreurs dont on ne connaît pas la valeur.

MM. Dehérain et Moissan ont songé à cette cause de perturbation en discutant les circonstances de l'émission d'azote. Ce gaz s'est montré en quantités très diverses dans leurs expériences, comme on peut le voir en consultant le tableau V de leur mémoire (1). Pour expliquer ce dégagement d'azote égalant parfois la moitié de l'oxygène absorbé, ces expérimentateurs pensent « que l'azote dégagé provient tout simplement de l'atmosphère confinée dans les feuilles (2) ».

La nécessité d'opérer sur des feuilles ou des rameaux coupés nous obligeait à faire des expériences de très courte durée, car si la respiration de ces organes ainsi détachés de la plante n'est pas troublée pendant les premières heures qui suivent la mutilation, il n'en saurait être de même lorsqu'on les conserve pendant plusieurs jours en expérience, comme l'ont fait MM. Dehérain et Moissan. Ces auteurs ont, en effet, constaté que les feuilles de *Ficus*, de Tabac étaient flétries après deux ou trois jours de séjour dans l'atmosphère confinée (3). La longue durée des expériences n'a pas seulement pour résultat de placer des feuilles ou des rameaux détachés dans des conditions physiologiques anormales, elle a encore un plus grave inconvénient; en effet, les feuilles, en séjournant pendant longtemps dans l'appareil, consomment la totalité de l'oxygène de l'atmosphère qui les environne; elles présentent alors le phénomène de la fermentation propre déjà étudié à ce point de vue par M. Müntz (4), c'est-à-dire qu'elles continuent à dégager de l'acide carbonique sans absorber d'oxygène. Il en résulte nécessairement que la valeur du rapport $\frac{CO^2}{O}$ calculée dans ces conditions ne peut s'appliquer à la respiration normale, car cette valeur sera alors d'autant plus grande, que l'expérience aura duré plus longtemps.

(1) *Loc. cit.*, p. 342.
(2) *Loc. cit.*, p. 351.
(3) *Loc. cit.*, p. 346.
(4) Comptes rendus.

Or, si l'on consulte le tableau V du mémoire de MM. Dehérain et Moissan, on trouve que sur vingt-six expériences il y en a douze dans lesquelles les feuilles avaient consommé tout l'oxygène de l'atmosphère où elles séjournaient ; aussi les valeurs du rapport $\frac{CO^2}{O}$ trouvées dans ces conditions sont-elles nécessairement beaucoup trop grandes (voyez les expériences n°s 54, 55, 56, 57, 58 et 69, 70, 71, 72 du tableau cité).

Nous avons remédié à ces inconvénients en réalisant toujours des expériences de courte durée ; on verra plus loin que la durée moyenne du séjour des plantes dans l'atmosphère continée a été de une à deux heures. Dans le cas où la température est trop basse pour donner lieu à un dégagement et à une absorption suffisants, nous avons prolongé exceptionellement la durée des expériences pendant sept ou neuf heures. Nous avons, d'ailleurs, toujours rejeté les résultats lorsque l'analyse nous révélait que la quantité d'oxygène restant était inférieure à 14 pour 100. Enfin cette manière d'opérer nous a aussi mis à l'abri des erreurs que la végétation des moisissures ou des bactéries peut apporter lorsqu'on étudie des parties de plantes isolées et en voie de dépérissement.

III. — EXPÉRIENCES DE CONTRÔLE.

Comme dans nos mémoires précédents, nous nous sommes assurés, par quelques expériences de contrôle, de la valeur des résultats obtenus par la méthode adoptée.

1° *Gaz contenus dans les feuilles.* — Lorsqu'il s'agit des feuilles, dont le tissu ordinairement riche en lacunes communique avec l'extérieur, on doit se demander si les gaz contenus dans les lacunes ou dans les cellules n'introduisent pas une cause d'erreur importante dans les mesures à faire.

Dans les conditions où nous avons opéré le plus ordinairement, cette cause d'erreur, quelle que soit son importance, était rendue insensible par le lavage préalable dans un courant d'air, suivi du brassage de l'air fait avec l'appareil à prises

avant d'opérer la prise initiale. Cette prise d'air au début, analysée, donnait en effet la composition primitive de l'atmosphère, comprenant aussi bien les gaz externes que les gaz internes qui avaient été mélangés par le brassage. D'ailleurs, on peut s'assurer par quelques expériences que cette cause d'erreur n'est pas importante pour les espèces avec lesquelles nous avons opéré.

C'est ainsi, par exemple, que 58 grammes de feuilles de Lierre, mises dans 600 centimètres cubes d'air, ont donné immédiatement, sans lavage et après brassage, la composition suivante :

Acide carbonique	0,00	100,00
Oxygène	20,84	
Azote	79,16	

30 grammes de feuilles de Marronnier d'Inde dans 690 centimètres cubes d'air, ont donné dans les mêmes conditions, pour la composition de l'atmosphère au début :

Acide carbonique	0,04	100,00
Oxygène	20,86	
Azote	79,10	

Des feuilles de Lilas (49 grammes placés de même dans 620 centimètres cubes d'air) ont donné au début :

Acide carbonique	0,00	100,00
Oxygène	20,78	
Azote	79,22	

On voit que, dans ces expériences, l'atmosphère initiale a presque la composition de l'air, et lorsqu'on veut seulement déterminer le rapport de l'acide carbonique émis à l'oxygène absorbé, on pourrait à la rigueur se dispenser de faire l'analyse de la prise initiale.

Cependant, comme en quelques cas, et surtout dans les expériences faites dans d'autres conditions qu'à la température ordinaire, il est nécessaire de laisser les feuilles prendre la température de l'air dans lequel on les immerge, il faut faire un lavage à courant d'air continu, et alors une première prise devient indispensable.

2° *Limite des erreurs de mesure.* — Les limites des erreurs de mesure dans les expériences faites avec les feuilles sont sensiblement les mêmes que lorsqu'on opère avec les tissus sans chlorophylle.

On peut citer deux expériences faites dans les mêmes conditions avec le Pin maritime :

Pin maritime : (EXPÉRIENCE DE CONTRÔLE).

Obscurité, air saturé.

POIDS DES FEUILLES ET VOLUME D'AIR.	DURÉE DE L'EXPÉRIENCE.	TEMPÉRATURE.	CO^2 DÉGAGÉ POUR 100.	O ABSORBÉ POUR 100.
129gr dans 622cc d'air.	1h 50m	20°	3,39	3,99
	1h 50m	20°	3,40	3,96

Au point de vue du rapport $\frac{CO^2}{O}$, trois valeurs ont été déterminées à la même température (20 degrés), pour cette même espèce, et ont donné 0,86 ; 0,84 ; 0,87.

D'une manière générale, on peut évaluer à moins d'un centième du volume total l'erreur maxima faite sur la quantité de gaz émise ou absorbée pendant la respiration des feuilles.

Quant au rapport $\frac{CO^2}{O}$, l'erreur maxima totale peut atteindre cinq centièmes.

IV. — NATURE DES GAZ ÉMIS ET ABSORBÉS DANS LA RESPIRATION DES FEUILLES A L'OBSCURITÉ.

Avant d'exposer le détail de nos recherches sur la respiration des feuilles à l'obscurité, il était indispensable de connaître la nature des gaz émis ou absorbés pendant cet échange gazeux, dans les conditions normales.

Comme on l'admet ordinairement, l'oxygène et l'acide car-

bonique sont les seuls gaz échangés, car l'émission ou l'absorption d'azote constatées dans de nombreuses expériences paraissent devoir être attribuées, de l'aveu des auteurs qui ont déjà étudié cette question, aux gaz accidentellement introduits avec les feuilles en expérience.

Nos recherches nous ont montré que les feuilles étudiées peuvent être classées en deux catégories (voyez plus loin, p. 237) : celles qui émettent un volume d'acide carbonique égal au volume d'oxygène absorbé (Lilas, etc.), et celles qui absorbent plus d'oxygène qu'elles n'émettent d'acide carbonique (Pin, etc.).

Les expériences entreprises avec les feuilles de la première catégorie nous ont permis de constater que le volume d'azote est sensiblement constant et, par suite, elles ont confirmé l'absence du dégagement ou de l'absorption de ce gaz pendant la respiration normale. Il n'était donc pas nécessaire d'insister davantage sur ce point.

Mais les expériences faites avec les feuilles qui assimilent plus d'oxygène qu'elles ne dégagent d'acide carbonique dans le même temps, nous ont toujours montré dans la composition en centièmes de l'atmosphère finale une augmentation apparente d'azote, causée par la diminution du volume gazeux.

Il fallait vérifier, au moyen des variations de pression de l'atmosphère confinée, si cette augmentation dans la teneur en azote n'est qu'apparente; ces expériences de contrôle étaient d'autant plus nécessaires, qu'elles devaient servir à justifier la manière dont nous avons calculé le rapport $\frac{CO^2}{O}$, l'azote étant supposé constant.

Voici l'une de ces expériences de vérification :

95 grammes de feuilles de Pin maritime ont été placées pendant 2 h. 35 dans un manchon de verre fermé et communiquant d'une part avec un manomètre à air libre, d'autre part avec un appareil à prises d'air.

La température et la pression sont restées constantes à 20 degrés et à 758 millimètres.

A la fin de l'expérience, le manomètre accusait une diminution de pression égale à $4^{mm},84$.

La composition initiale de l'atmosphère était :

$CO^2 = 0,00$
$O = 20,80$
$Az = 79,20$

La composition finale est devenue :

$CO^2 = 4,32$
$O = 15,96$
$Az = 79,72$

Par suite, la quantité de gaz échangés est en centièmes :

CO^2 dégagé...	4,32 pour 100
O absorbé	4,97 —

La diminution du volume gazeux est alors égale à 0,65 pour 100, en admettant l'azote constant. Par suite la diminution de pression qu'elle aurait dû occasionner dans cette hypothèse est :

$$\frac{758,6 \times 0,65}{100} = 4^{mm},93.$$

Cette diminution de pression calculée, $4^{mm},93$, étant sensiblement égale à la diminution de pression observée, $4^{mm},84$, nous pouvons en déduire que l'augmentation de l'azote dans l'atmosphère finale n'est qu'apparente.

Conclusions. — Nous pouvons donc conclure : 1° *Dans la respiration normale, à l'obscurité, les feuilles exhalent de l'acide carbonique et absorbent de l'oxygène.*

2° *L'augmentation de la teneur centésimale en azote, révélée dans quelques expériences, n'est qu'apparente; elle est due à la diminution du volume total provoquée par l'absorption d'un volume d'oxygène supérieur au volume d'acide carbonique émis* (1).

(1) Nous devons indiquer comment, dans les tableaux qui suivent, nous avons tenu compte de l'augmentation dans la teneur centésimale en azote. L'ex-

V. — CONSTANCE DU RAPPORT $\frac{CO^2}{O}$ AVEC LA TEMPÉRATURE ET AVEC LA PRESSION.

Les recherches, établies comme il a été dit au chapitre II, ont été faites sur les espèces suivantes au point de vue de

périence précédente nous permettra de donner cette explication. La composition centésimale de l'atmosphère au début de l'expérience était :

$$CO^2 = 0,00$$
$$O = 20,80$$
$$Az = 79,20$$

A la fin de l'expérience, elle devient :

$$CO^2 = 4,32$$
$$O = 15,96$$
$$Az = 79,72$$

Pour connaître la proportion en centièmes des gaz absorbés ou dégagés, nous ne pouvons pas retrancher simplement les quantités de chacun des gaz analysés au début et à la fin de l'expérience, car le volume total est plus petit que le volume initial.

Comme le volume de l'azote est invariable, ainsi que nous venons de le démontrer, nous pourrons comparer la composition de l'air au début à celle de l'air à la fin quand nous aurons modifié les chiffres de l'une ou l'autre composition centésimale, de façon à obtenir le même taux d'azote.

Dans tous les tableaux d'expériences, nous avons calculé les quantités d'oxygène et d'acide carbonique qui existeraient pour une proportion d'azote égale à la proportion finale. Ainsi, dans l'expérience citée comme exemple,

l'azote final = 79,72,
tandis que l'azote initial = 79,20.

Pour ramener ce dernier à la valeur du premier, il faudrait multiplier sa valeur par le quotient

$$\frac{79,72}{79,20} = 1,0065;$$

par suite, les proportions d'oxygène et d'acide carbonique devront être aussi multipliées par le même quotient.

La composition de l'atmosphère initiale se trouve ainsi modifiée :

$$CO^2 = 0,00$$
$$O = 20,93$$
$$Az = 79,72$$

Comme d'autre part, la composition finale est :

$$CO^2 = 4,32$$
$$O = 15,96$$
$$Az = 79,72$$

nous aurons en définitive pour la valeur des gaz émis et absorbés :

CO^2 dégagé = 4,32
O absorbé = 4,97

C'est ce calcul que nous avons résumé dans tous les tableaux, à la colonne intitulée *Observations*.

$\frac{CO^2}{O}$ aux diverses températures ou aux diverses pressions : Fusain du Japon, Lilas, Marronnier d'Inde, Lierre, If, Pin maritime, Pin Pignon, Pin sylvestre.

Dans chaque série d'expériences, faites avec les mêmes individus dans un état déterminé, la durée, toujours courte, du séjour des plantes dans l'appareil à analyses était différente suivant les températures. En général, les expériences d'une série étaient conduites de façon à donner toutes une quantité d'acide carbonique pour 100 toujours à peu près la même. On comprend, en effet, que dans ces conditions, les comparaisons établies sont toujours meilleures, et d'ailleurs, aux basses températures, à zéro par exemple, un temps de séjour trop court ne permettrait pas de doser les gaz échangés et aux températures élevées un séjour trop prolongé troublerait la respiration normale. C'est ainsi que pour toutes les expériences, même pour celles qui ont été le plus prolongées, il restait toujours 16 à 18 pour 100 d'oxygène dans l'atmosphère qui entourait la plante à la fin de l'expérience.

Comme, dans ces limites, les résultats démontrent que l'on est toujours dans la période de respiration normale, la méthode employée se trouve par là légitimée.

1. ÉTUDE DU RAPPORT $\frac{CO^2}{O}$ AUX DIVERSES TEMPÉRATURES. — Les expériences ont été faites avec des branches feuillées semblables autant que possible et toutes à un même état déterminé.

Les branches cueillies ont été immédiatement placées dans l'appareil.

Voici les résultats obtenus, dont on trouvera le détail en consultant les tableaux d'expériences I, II, III, IV, V, VI et VII :

TABLEAU I. — **Fusain du Japon** (*Evonymus japonicus*).

Branches feuillées, avec feuilles de l'année (29 mars). — (Obscurité, air saturé, appareil à étuve.)

EXPÉRIENCES.	POIDS DES FEUILLES et VOLUME D'AIR.	DURÉE DE L'EXPÉRIENCE.	TEMPÉRATURE.	PRISE DE GAZ.	DIVISIONS LUES SUR L'APPAREIL A ANALYSES. Volume initial.	Après potasse.	Après pyrogallate.	CO^2 POUR 100.	O POUR 100.	Az POUR 100.	OBSERVATIONS.	CO^2 DÉGAGÉ.	O ABSORBÉ.	$\frac{CO^2}{O}$
N° 1...	51gr dans 665cc d'air.	7h 30m	0°	Début.	»	»	»	0,00	20,80	79,20	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,00$ $O = 20,83$	0,88	0,90	0,97
			0°	Fin...	730,0	723,5	578,0	0,88	19,93	79,19	Elle renferme : $CO^2 = 0,88$ $O = 19,93$			
N° 2...	57gr dans 700cc d'air.	4 h.	15°	Début.	748,0	745,5	592,5	0,33	20,45	79,22	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,33$ $O = 20,47$	4,34	4,45	0,97
			15°	Fin...	727,0	693,0	577,0	4,67	16,02	79,31	Elle renferme : $CO^2 = 4,67$ $O = 16,02$			

TABLEAU I. — **Fusain du Japon** (*Suite*).

EXPÉRIENCES.	POIDS DES FEUILLES et VOLUME D'AIR.	DURÉE DE L'EXPÉRIENCE.	TEMPÉRATURE.	PRISE DE GAZ.	DIVISIONS LUES SUR L'APPAREIL A ANALYSES. Volume initial.	Après potasse.	Après pyrogallate.	CO^2 POUR 100.	O POUR 100.	Az POUR 100.	OBSERVATIONS.	CO^2 DÉGAGÉ.	O ABSORBÉ.	$\frac{CO^2}{O}$
N° 3...	57gr dans 665cc d'air.	2h30m	23°	Début.	743,0	737,0	585,5	0,80	20,39	78,81	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0{,}32$ $O = 20{,}39$	3,41	3,32	1,00
			23°	Fin...	758,5	726,5	597,0	4,21	17,07	78,72	Elle renferme : $CO^2 = 4{,}21$ $O = 17{,}07$			
N° 4...	Id.	1 h.	31°	Début.	765,0	762,5	604,0	0,32	20,71	78,97	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0{,}32$ $O = 10{,}71$	3,49	3,76	0,94
			31°	Fin...	772,5	743,0	591,0	3,81	16,95	79,24	Elle renferme : $CO^2 = 3{,}81$ $O = 16{,}95$			

(Obscurité, air saturé, appareil à étuve.)

EXPÉRIENCES.	POIDS DES FEUILLES et VOLUME D'AIR.	DURÉE de l'expérience.	TEMPÉRATURE.	PRISE DE GAZ.	DIVISIONS lues sur l'appareil A ANALYSES. Volume initial.	Après potasse.	Après pyrogallate.	CO^2 POUR 100.	O POUR 100.	Az POUR 100.	OBSERVATIONS.	CO^2 DÉGAGÉ.	O ABSORBÉ.	$\frac{CO^2}{O}$
N° 5.	49gr dans 620cc d'air.	1h00m	18°	Début.	663,0	659,0	524,0	0,60	20,36	79,04	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0{,}60$ $O = 20{,}36$	2,96	3,00	0,98
			18°	Fin...	754,0	727,0	596,5	3,58	17,36	79,05	Elle renferme : $CO^2 = 3{,}58$ $O = 17{,}36$			
N° 6.	Id.	0h45m	24°	Début.	753,0	753,0	596,5	0,00	20,78	79,22	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0{,}00$ $O = 20{,}84$	4,41	4,68	0,94
			24°	Fin...	758,0	724,5	602,0	4,41	16,16	79,43	Elle renferme : $CO^2 = 4{,}41$ $O = 16{,}16$			
N° 7.	Id.	0h30m	32°	Début.	740,0	738,0	585,0	0,27	20,67	79,06	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0{,}27$ $O = 20{,}67$	4,40	4,44	0,99
			32°	Fin...	745,5	710,5	589,5	4,69	16,23	79,08	Elle renferme : $CO^2 = 4{,}69$ $O = 16{,}23$			

TABLEAU III. — **Marronnier d'Inde** (*Æsculus Hippocastanum*).
Branches avec feuilles de l'année (22 avril). — (Obscurité, air saturé, appareil à étuve.)

EXPÉRIENCES.	POIDS DES FEUILLES et VOLUME D'AIR.	DURÉE de l'expérience.	TEMPÉRATURE.	PRISE DE GAZ.	DIVISIONS LUES SUR L'APPAREIL A ANALYSES. Volume initial.	Après potasse.	Après pyrogallate.	CO^2 POUR 100.	O POUR 100.	Az POUR 100.	OBSERVATIONS.	CO^2 DÉGAGÉ.	O ABSORBÉ.	$\frac{CO^2}{O}$
N° 8.	50 grammes dans 690cc d'air...	4h 40m	0°	Début.	754,5	753,5	597,0	0,13	20,61	79,26	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,13$ $O = 20,61$	2,02	2,09	0,97
			0°	Fin...	726,0	710,5	576,0	2,15	18,59	79,33	Elle renferme : $CO^2 = 2,15$ $O = 18,59$			
N° 9.	Id.	1h30m	14°	Début.	748,5	748,5	592,0	0,00	20,90	79,10	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,00$ $O = 20,90$	2,85	2,81	1,01
			14°	Fin...	742,0	710,5	586,5	2,89	18,05	79,06	Elle renferme : $CO^2 = 2,89$ $O = 18,05$			

TABLEAU III. — **Marronnier d'Inde** (suite).

EXPÉRIENCES.	POIDS DES FEUILLES et VOLUME D'AIR.	DURÉE de l'expérience.	TEMPÉRATURE.	PRISE DE GAZ.	DIVISIONS LUES SUR L'APPAREIL A ANALYSES. Volume initial.	Après potasse.	Après pyrogallate.	CO^2 POUR 100.	O POUR 100.	Az POUR 100.	OBSERVATIONS.	CO^2 DÉGAGÉ.	O ABSORBÉ.	$\frac{CO^2}{O}$
N° 10.	50 grammes dans 690cc d'air....	0h 35m	25°	Début.	758,0	755,0	600,5	0,39	20,45	79,16	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,39$ $O = 20,45$	3,25	3,31	0,98
			25°	Fin...	755,0	727,5	598,0	3,64	17,5	79,21	Elle renferme : $CO^2 = 3,64$ $O = 17,50$			
N° 11.	Id.	0h 47m	27°	Début.	745,5	736,0	591,0	1,27	19,45	79,18	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 1,27$ $O = 19,45$	3,89	3,68	1,06
			35°5	Fin...	745,0	706,5	589,0	5,16	15,77	79,07	Elle renferme : $CO^2 = 5,16$ $O = 15,77$			

TABLEAU IV. — **Lierre** (*Hedera Helix*).

Feuilles de l'année : 53 grammes dans 600^{cc} d'air. — (Obscurité, air saturé, appareil à étuve.)

EXPÉRIENCES.	DURÉE DE L'EXPÉRIENCE.	TEMPÉRATURE.	PRISE DE GAZ.	DIVISIONS LUES SUR L'APPAREIL A ANALYSES. Volume initial.	Après potasse.	Après pyrogallate.	CO^2 pour 100.	O pour 100.	Az pour 100.	OBSERVATIONS.	CO^2 DÉGAGÉ.	O ABSORBÉ.	$\frac{CO^2}{O}$
Nº 12.	1 h.	18°	Début.	»	»	»	0,00	20,80	79,20	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,00$ $O = 20,80$	1,61	1,60	1,00
		17°,5	Fin...	742,0	730,0	587,5	1,61	19,20	79,19	Elle renferme : $CO^2 = 1,61$ $O = 19,20$			
Nº 13.	0^h,30^m	27°	Début.	734,0	734,0	581,0	0,00	20,84	79,16	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,00$ $O = 20,84$	1,78	1,78	1,00
		32°	Fin...	729,0	716,0	577,0	1,78	19,06	79,16	Elle renferme : $CO^2 = 1,78$ $O = 19,06$			

1re SÉRIE. — *Espèces pour lesquelles il n'y a pas d'assimilation d'oxygène à l'état adulte.* — *Evonymus japonicus* (tableau I). — Des branches semblables de Fusain du Japon, munies des feuilles de l'année, ont été cueillies le 29 mars et mises immédiatement dans l'appareil. L'air était lavé au début et entre chaque expérience. Une prise d'air initiale et une prise d'air finale étaient faites chaque fois pour une température déterminée.

Les gaz étant analysés, on trouve, par la comparaison des analyses de la prise initiale et de la prise finale de chaque expérience, les valeurs suivantes pour le rapport $\frac{CO^2}{O}$:

$$\begin{aligned} &\text{à } 0^\circ\ldots\ldots & \frac{CO^2}{O} &= 0,97 \\ &\text{à } 15^\circ\ldots\ldots & &= 0,97 \\ &\text{à } 23^\circ\ldots\ldots & &= 1,00 \\ &\text{à } 31^\circ\ldots\ldots & &= 0,94 \\ \hline & & \frac{CO^2}{O} &= 1 = \text{constante.} \end{aligned}$$

Ainsi, pour cette espèce, le rapport des volumes de gaz émis et absorbés ne varie pas avec la température; il est d'ailleurs très voisin de l'unité et l'on peut dire que la quantité d'oxygène assimilée est négligeable. Comme d'ailleurs l'erreur maxima peut égaler cinq centièmes, on peut admettre qu'à cet âge de la plante, tout l'oxygène absorbé se retrouve dans l'acide carbonique émis.

Syringa vulgaris (tableau II). — Des branches feuillées de Lilas, de l'année, cueillies le 2 avril, ont donné des résultats analogues :

$$\begin{aligned} &\text{à } 18^\circ\ldots\ldots & \frac{CO^2}{O} &= 0,98 \\ &\text{à } 24^\circ\ldots\ldots & &= 0,95 \\ &\text{à } 33^\circ\ldots\ldots & &= 0,99 \\ \hline & & \frac{CO^2}{O} &= 1 = \text{constante.} \end{aligned}$$

Dans cette série d'expériences, comme dans la précédente, on a toujours opéré avec les *mêmes* individus placés successivement aux diverses températures, avec lavage de l'atmosphère

par un courant d'air saturé entre chaque expérience et avec prises initiales.

Æsculus Hippocastanum (tableau III). — Pour le Marronnier d'Inde, des branches portant des feuilles développées, cueillies le 22 avril, ont donné des résultats identiques aux précédents pour la valeur du rapport entre les gaz émis et absorbés :

$$
\begin{array}{ll}
\text{à } 0^\circ \ldots\ldots & \frac{CO^2}{O} = 0{,}97 \\
\text{à } 14^\circ \ldots\ldots & \phantom{\frac{CO^2}{O}} = 1{,}01 \\
\text{à } 25^\circ \ldots\ldots & \phantom{\frac{CO^2}{O}} = 0{,}98 \\
\text{à } 30^\circ \ldots\ldots & \phantom{\frac{CO^2}{O}} = 1{,}06 \\
\hline
 & \frac{CO^2}{O} = 1 = \text{constante.}
\end{array}
$$

On peut remarquer ici que, quoique les individus qui ont servi aux expériences 10 et 11 ne soient pas les mêmes que ceux qui ont servi aux expériences 8 et 9, les résultats n'ont pas changé au point de vue du rapport $\frac{CO^2}{O}$.

Les feuilles persistantes du Lierre, dont la consistance et la structure anatomique s'éloignent beaucoup des précédentes, nous ont même fourni des résultats analogues :

$$
\begin{array}{ll}
\text{à } 18^\circ \ldots\ldots & \frac{CO^2}{O} = 1{,}00 \\
\text{à } 30^\circ \ldots\ldots & \phantom{\frac{CO^2}{O}} = 1{,}00 \\
\hline
 & \frac{CO^2}{O} = 1 = \text{constante.}
\end{array}
$$

Ici encore, comme dans les plantes dont nous venons de parler, l'oxygène absorbé se retrouve entièrement dans l'acide carbonique émis ; il n'y a ni assimilation, ni perte d'oxygène par la respiration, à aucune température.

2e SÉRIE. — *Espèces pour lesquelles il y a assimilation d'oxygène à l'état adulte.* — Toutes les espèces ne nous ont pas donné le résultat précédent. Parmi les branches munies de feuilles adultes que nous avons étudiées, celles des Gymnospermes, des *Eucalyptus*, etc., ont présenté un rapport plus petit

que l'unité; mais ici encore le rapport $\frac{CO^2}{O}$ est demeuré constant quelle que soit la température. On peut s'en assurer en consultant les tableaux V, VI et VII dont les résultats principaux sont les suivants :

Pinus maritima (tableau V). — Un grand nombre d'expériences ont été faites avec des branches de Pin maritime sans bourgeons à fleurs, venant d'être cueillies et portant des feuilles de l'année précédente. Voici les principales valeurs trouvées pour $\frac{CO^2}{O}$:

à 0°......	$\frac{CO^2}{O} = 0,83$
à 20°......	$= 0,86$
à 22°......	$= 0,85$
à 27°,5. ...	$= 0,82$
à 36°......	$= 0,87$

$$\frac{CO^2}{O} = 0,85 = \text{constante.}$$

Ainsi le rapport, pour cette espèce, est toujours plus petit que l'unité et compris entre 0,8 et 0,9, même à 36 degrés.

Pinus Pinea (tableau VI). — En opérant de même avec le Pin Pignon, on obtient des résultats analogues :

à 14°......	$\frac{CO^2}{O} = 0,82$
à 24°......	$= 0,83$

$$\frac{CO^2}{O} = 0,8 = \text{constante.}$$

Taxus baccata (tableau VII). — Des branches d'If avec feuilles de l'année précédente, ont donné aussi un rapport constant, compris entre 0,8 et 0,9, pour les diverses températures. C'est ainsi que l'on a :

à 16°......	$\frac{CO^2}{O} = 0,86$
à 34°......	$= 0,80$
à 46°......	$= 0,89$

$$\frac{CO^2}{O} = 0,85 = \text{constante.}$$

TABLEAU V. — **Pin maritime** (*Pinus maritima*).

EXPÉRIENCES.	POIDS DES FEUILLES et VOLUME D'AIR.	DURÉE DE L'EXPÉRIENCE.	TEMPÉRATURE.	PRISE DE GAZ.	DIVISIONS LUES SUR L'APPAREIL A ANALYSES. Volume initial.	Après potasse.	Après pyrogallate.	CO^2 pour 100.	O pour 100.	Az pour 100.	OBSERVATIONS.	CO^2 DÉGAGÉ.	O ABSORBÉ.	$\frac{CO^2}{O}$
N° 14.	120gr de rameaux feuillés dans 620cc d'air.	9 h.	0°	Début.	»	»	»	0,00	20,80	79,20	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,00$ O = 20,94	3,40	4,08	0,83
			0°	Fin...	765,0	739,0	610,0	3,40	16,86	79,74	Elle renferme : $CO^2 = 3,40$ O = 16,86			
N° 15.	95gr de rameaux feuillés dans 1l110cc d'air.	2h 35m	20°	Début.	708,0	708,0	560,5	0,00	20,80	79,20	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,00$ O = 20,93	4,32	4,07	0,86
			20°	Fin...	751,5	719,0	599,0	4,32	15,96	79,72	Elle renferme : $CO^2 = 4,32$ O = 15,96			
N° 16.	120gr dans 620cc d'air.	1h 50m	20°	Début.	»	»	»	0,00	20,80	79,20	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,00$ O = 20,91	3,39	3,99	0,84
			20°	Fin...	750,5	725,0	598,0	3,39	16,92	79,63	Elle renferme : $CO^2 = 3,39$ O = 16,92			

TABLEAU V. — **Pin maritime** (suite).

EXPÉRIENCES.	POIDS DES FEUILLES et VOLUME D'AIR.	DURÉE DE L'EXPÉRIENCE.	TEMPÉRATURE.	PRISE DE GAZ.	DIVISIONS LUES SUR L'APPAREIL A ANALYSES. Volume initial.	Après potasse.	Après pyrogallate.	CO^2 pour 100.	O pour 100.	Az pour 100.	OBSERVATIONS.	CO^2 DÉGAGÉ.	O ABSORBÉ.	$\frac{CO^2}{O}$
N° 17.	91gr de rameaux dans 625cc d'air.	0h 48m	22°	Début.	»	»	»	0,00	20,80	78,20	A la fin de l'expérience l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,00$ $O = 20,89$	2,39	2,79	0,85
			22°	Fin...	752,0	685,0	566,0	2,38	18,10	79,54	Elle renferme : $CO^2 = 2,39$ $O = 18,10$			
N° 18.	134gr dans 620cc d'air.	3h 7m	27° 05	Début.	736,0	734,0	581,5	0,27	20,72	79,01	A la fin de l'expérience l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,00$ $O = 20,80$	2,79	3,39	0,82
			27° 05	Fin...	735,0	712,5	595,5	3,06	17,41	79,53	Elle renferme : $CO^2 = 3,06$ $O = 17,41$			
N° 13.	120gr dans 620cc d'air.	3h 7m	36°	Début.	753,0	748,8	594,0	0,66	20,45	78,89	A la fin de l'expérience l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,66$ $O = 20,51$	2,67	3,05	0,87
			36°	Fin...	750,0	725,0	594,0	3,13	17,46	79,11	Elle renferme : $CO^2 = 3,33$ $O = 17,46$			

TABLEAU VI. — Pin sylvestre (*Pinus sylvestris*).

EXPÉRIENCES.	POIDS DES FEUILLES e VOLUME D'AIR.	DURÉE.	TEMPÉRATURE.	PRISE DE GAZ.	DIVISIONS LUES SUR L'APPAREIL A ANALYSES. Volume initial.	Après potasse.	Après pyrogallate.	CO^2 POUR 100.	O POUR 100.	AZ POUR 100.	OBSERVATIONS.	CO^2 DÉGAGÉ.	O ABSORBÉ.	$\frac{CO^2}{O}$
N° 20.	»	2h	24°	Début.	»	»	»	0,00	70,80	79,20	A la fin de l'expérience l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,00$ $O = 21,15$	13,56	15,30	0,80
			24°	Fin...	767,0	663,0	618,0	13,56	5,85	80,59	Elle contient : $CO^2 = 13,56$ $O = 5,85$			
N° 21.	95gr dans 550cc d'air.	0h25m	35°	Début.	740,0	735,0	589,5	0,67	20,47	78,86	A la fin de l'expérience l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,67$ $O = 20,55$	3,35	3,84	0,87
			35°	Fin...	745,0	715,0	590,5	4,02	16,71	79,25	Elle contient : $CO^2 = 4,02$ $O = 16,71$			

TABLEAU VII. — **Pin Pignon** (*Pinus pinea*).

EXPÉRIENCES.	POIDS DES FEUILLES et VOLUME D'AIR.	DURÉE.	TEMPÉRATURE.	PRISE DE GAZ.	DIVISIONS LUES SUR L'APPAREIL A ANALYSES. Volume initial.	Après potasse.	Après pyrogallate.	CO^2 POUR 100.	O POUR 100.	Az POUR 100.	OBSERVATIONS.	CO^2 POUR 100 dégagé.	O POUR 100 absorbé.	$\frac{CO^2}{O}$
N° 22.	122^{gr} de rameaux feuillés dans 1^{l},260 d'air.	2^{h}10^{m}	14°	Début.	»	»	»	0,00	20,80	79,20	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,00$ $O = 20,88$	1,44	1,75	0,82
			14°	Fin...	763,0	752,0	607,0	1,44	19,13	79,53	Elle renferme : $CO^2 = 1,44$ $O = 19,13$			
N° 23.	Id.	2^{h}15^{m}	24°	Début.	»	»	»	0,00	20,80	79,20	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,00$ $O = 20,90$	2,62	3,15	0,83
			24°	Fin...	763,0	743,0	607,5	2,62	17,75	79,63	Elle renferme : $CO^2 = 2,62$ $O = 17,75$			

TABLEAU VII (suite). — **Pin des Canaries** (*Pinus canariensis*).

EXPÉRIENCES.	POIDS DES FEUILLES et VOLUME D'AIR.	DURÉE DE L'EXPÉRIENCE.	TEMPÉRATURE.	PRISE DE GAZ.	DIVISIONS LUES SUR L'APPAREIL A ANALYSES. Volume initial.	Après potasse.	Après pyrogallate.	CO^2 pour 100.	O pour 100.	Az pour 100.	OBSERVATIONS.	CO^2 DÉGAGÉ.	O ABSORBÉ.	$\frac{CO^2}{O}$
N° 24.	70gr de rameaux dans 650cc d'air.	1h50m	29°	Début.	»	»	»	0,00	20,80	79,20	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,00$ $O = 20,94$	6,84	7,58	0,90
			29°	Fin...	774,5	721,5	618,0	6,84	13,36	79,80	Elle renferme $CO^2 = 6,84$ $O = 13,36$			

Pin d'Alep (*Pinus halepensis*).

EXPÉRIENCES.	POIDS DES FEUILLES et VOLUME D'AIR.	DURÉE DE L'EXPÉRIENCE.	TEMPÉRATURE.	PRISE DE GAZ.	Volume initial.	Après potasse.	Après pyrogallate.	CO^2 pour 100.	O pour 100.	Az pour 100.	OBSERVATIONS.	CO^2 DÉGAGÉ.	O ABSORBÉ.	$\frac{CO^2}{O}$
N° 25.	17gr de rameaux dans 1l,340 d'air.	14h40	20°	Début.	»	»	»	0,00	20,80	79,20	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,00$ $O = 20,89$	1,89	2,33	0,81
			16°	Fin...	738,0	724,0	587,0	1,89	18,56	79,55	Elle renferme : $CO^2 = 1,89$ $O = 18,56$			

TABLEAU VIII. — If (*Taxus baccata*).

EXPÉRIENCES.	POIDS DES FEUILLES et VOLUME D'AIR.	DURÉE DE L'EXPÉRIENCE.	TEMPÉRATURE.	PRISE DE GAZ.	DIVISIONS LUES SUR L'APPAREIL A ANALYSES. Volume initial.	Après potasse.	Après pyrogallate.	CO^2 pour 100.	O pour 100.	Az pour 100.	OBSERVATIONS.	CO^2 DÉGAGÉ.	O ABSORBÉ.	$\frac{CO^2}{O}$
N° 26.	106gr de branches feuillées dans 610cc d'air.	4 h.	16°	Début.	735,0	733,0	582,0	0,27	20,54	79,19	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,27$ $O = 20,68$	4,40	5,11	0,86
			16°	Fin...	738,5	704,0	589,0	4,67	15,57	79,76	Elle renferme : $CO^2 = 4,67$ $O = 15,57$			
N° 27.	40gr de branches feuillées dans 720cc d'air.	2 h.	34°	Début.	767,0	761,5	605,5	0,58	20,46	78,96	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,58$ $O = 20,58$	2,50	3,11	0,80
			34°	Fin...	729,5	707,0	579,5	3,08	17,47	79,45	Elle renferme : $CO^2 = 3,08$ $O = 17,47$			
N° 28.	106gr de branches feuillées dans 610cc d'air.	0h 35m	46°	Début.	732,5	728,5	577,0	0,54	20,68	78,78	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,54$ $O = 20,83$	5,54	6,16	0,89
			46°	Fin...	756,0	710,5	598,5	6,08	14,67	79,25	Elle renferme : $CO^2 = 6,08$ $O = 14,67$			

3° *Conclusion* — On voit par les résultats qui précèdent que, quelle que soit la valeur du rapport $\frac{CO^2}{O}$, qu'il soit plus petit que un ou égal à l'unité, cette valeur, pour une espèce donnée à un état déterminé, ne varie pas avec la température. Si la quantité d'oxygène absorbée par la respiration est égale à celle que renferme l'acide carbonique exhalé, comme c'est le cas pour les feuilles ordinaires, cette égalité subsiste aussi bien à zéro qu'à 45 degrés. Si une certaine proportion d'oxygène est assimilée par la respiration, comme c'est le cas pour les feuilles de Gymnospermes, par exemple, cette proportion est la même à toutes les températures. On peut donc énoncer la conclusion générale suivante :

Dans la respiration des feuilles d'une même plante à l'obscurité, le rapport du volume d'acide carbonique émis au volume d'oxygène absorbé est constant, quelle que soit la température.

2. ÉTUDE DU RAPPORT $\frac{CO^2}{O}$ AUX DIVERSES PRESSIONS. — Il suffit de jeter un coup d'œil sur les tableaux I, II, III, IV, V, VI, VII et VIII, pour voir que le rapport du volume de l'acide carbonique émis au volume de l'oxygène absorbé est indépendant de la durée de l'expérience. Cette durée a été assez variable pour montrer aussi que, dans des limites très étendues, le rapport $\frac{CO^2}{O}$ reste le même, pour une même plante, quelle que soit la pression de l'oxygène dans l'atmosphère qui entoure la plante. Cela montre aussi que la proportion croissante d'acide carbonique qui se trouve accumulée dans l'atmosphère continée n'influe pas sur le rapport, car dans toutes les expériences citées, les plantes se sont trouvées dans la période de respiration normale.

Citons, par exemple, deux expériences faites avec le Pin maritime à la même température et avec des durées différentes.

On a pour la 1re à 20° et pendant 2h,35... $\frac{CO^2}{O} = 0,86$

— 2e, à 20° et pendant 1h,50... $\frac{CO^2}{O} = 0,84$

$\frac{CO^2}{O} = 0,85 =$ **constante.**

On comprend l'importance qu'offrait la vérification de cette loi, puisque, comme on l'a vu plus haut, on ne peut étudier la respiration aux diverses températures qu'en comparant des expériences de durées inégales, relativement longues pour les basses températures et très courtes, au contraire, pour les températures élevées.

Nous pouvons donc conclure pour les tissus à chlorophylle placés à l'obscurité, comme pour les tissus sans chlorophylle :

Dans la respiration des feuilles d'une même plante, à l'obscurité, le rapport du volume d'acide carbonique émis au volume d'oxygène absorbé est constant, pour des limites très étendues, quelle que soit la pression.

VI. — Variations de la respiration pour les différentes espèces.

Si l'on veut essayer de comparer la respiration chez les différentes espèces, il est d'abord nécessaire de définir l'état de développement des tissus à chorophylle qu'on étudie. On sait en effet (1) que la respiration, et en particulier le rapport $\frac{CO^2}{O}$, varie avec le développement.

C'est ainsi que les expériences faites avec des plantules de Lin à cotylédons étalés et verts donnent un rapport $\frac{CO^2}{O} = 0,64$ tandis qu'à mesure que la plante se développe, ce rapport s'élève peu à peu pour se rapprocher de l'unité.

On peut s'en rendre compte aussi en examinant de jeunes plantules de Maïs, à feuilles absolument vertes et déjà très riches en chlorophylle, les plantules ayant en moyenne 15 centimètres de hauteur. On s'aperçoit qu'à ce moment du développement, bien longtemps après la période germinative, le rapport $\frac{CO^2}{O}$ n'est encore égal qu'à 0,6; il s'élèverait ensuite progressivement.

Aussi, pour caractériser la respiration d'une espèce, nous ne l'étudierons pas pendant une période de développement

(1) Voy. *Ann. sc. nat.*, 6[e] série, t. XVIII.

TABLEAU IX. — **Eucalyptus** (*Eucalyptus globulus*). Forme adulte. — (Expériences faites dans de l'air saturé.)

EXPÉRIENCES.	POIDS DES FEUILLES et VOLUME D'AIR.	DURÉE.	TEMPÉRATURE.	PRISE de GAZ.	DIVISIONS LUES SUR L'APPAREIL A ANALYSES. Volume initial.	Après potasse.	Après pyrogallate.	CO^2 POUR 100.	O POUR 100.	Az POUR 100.	OBSERVATIONS.	CO^2 DÉGAGÉ.	O ABSORBÉ.	$\frac{CO^2}{O}$
N° 29.	127gr de rameaux dans 1l150 d'air.	2h 55m	19°	Début.	»	»	»	0,00	20,80	79,20	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,00$ $O = 20,94$	2,74	3,43	0,80
			19°	Fin...	748,0	727,5	596,5	2,74	17,51	79,75	Elle contient : $CO^2 = 2,74$ $O = 17,51$			
2° **Rue** (*Ruta angustifolia*).														
N° 30.	8gr dans 180cc d'air.	3h	17°	Début.	»	»	»	0,00	20,80	79,20	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,00$ $O = 21,00$	2,64	3,60	0,73
			17°	Fin...	718,0	699,0	574,0	2,64	17,40	79,96	Elle contient : $CO^2 = 2,64$ $O = 17,40$			
N° 31.	8gr dans 166cc d'air.	0h 30m	45°	Début.	»	»	»	0,00	20,80	29,20	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : $CO^2 = 0,00$ $O = 21,07$	3,84	5,21	0,73
			50°	Fin...	718,5	691,0	577,0	3,82	15,86	88,30	Elle renferme : $CO^2 = 3,82$ $O = 15,86$			

TABLEAU X. — RESPIRATION DES ALGUES. — 1° Nostoc (*Nostoc commune*).

EXPÉRIENCES.	POIDS DES TISSUS et VOLUME D'AIR.	DURÉE.	TEMPÉRATURE.	PRISE DE GAZ.	DIVISIONS LUES SUR L'APPAREIL A ANALYSES. Volume initial.	Après potasse.	Après pyrogallate.	CO^2 pour 100.	O pour 100.	Az pour 100.	OBSERVATIONS.	CO^2 DÉGAGÉ.	O ABSORBÉ.	$\frac{CO^2}{O}$
N° 32.	140gr de Nostocs dans 300cc d'air.	17h 30	19°,0	Début.	»	»	»	0,00	20,80	79,20	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : CO^2 = 0,00 O = 21,50	2,11	5,55	0,38
			18°,0	Fin...	733,5	718,0	601,5	2,11	15,95	81,94	Elle contient : CO^2 = 2,11 O = 15,95			
N° 33.	58gr dans 300cc d'air.	18h 35	19°,0	Début.	723,5	708,5	581,0	2,07	17,62	81,31	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : CO^2 = 2,10 O = 17,86	1,90	4,36	0,43
			14°,0											
			19°,0	Fin...	763,0	732,5	629,5	4,00	13,50	82,50	Elle contient : CO^2 = 4,00 O = 13,50			
2° Fucus (*Fucus canaliculatus*).														
N° 34.	»	5h 40m	14°,0	Début.	»	»	»	0,00	20,80	79,20	A la fin de l'expérience, l'atmosphère aurait dû contenir : CO^2 = 0,00 O = 21,63	4,09	8,11	0,50
			15°,0	Fin...	721,0	691,5	594,0	4,09	13,52	82,39	Elle contient : CO^2 = 4,09 O = 13,52			

rapide ; nous prendrons des tissus à chlorophylle ou des feuilles à l'état adulte, c'est-à-dire à un moment où l'accroissement y est minimum.

1° *Respiration des feuilles.* — On a vu par les résultats inscrits dans le chapitre précédent que la plupart des feuilles ordinaires que nous avons étudiées à l'état adulte, n'assimilent pas d'oxygène par la respiration.

Il n'en est pas de même des feuilles des plantes résineuses ou très riches en huiles essentielles que nous avons soumises aux mêmes expériences. Aux espèces précédemment citées, nous pouvons joindre le Pin des Canaries, le Pin d'Alep (voy. tableau VII), le Pin sylvestre (voy. tableau VI), l'*Eucalyptus globulus* (forme adulte) (voy. tableau IX) et le *Ruta angustifolia* qui a donné le même rapport (0,7) à 17 degrés et à 50 degrés (voy. tableau IX).

Les feuilles arrivées à leur état de développement complet nous ont donné chez toutes ces espèces un rapport $\frac{CO^2}{O}$ plus petit que l'unité. Pour toutes ces plantes, il y assimilation d'oxygène par la respiration. Cette assimilation est-elle liée à l'oxydation des carbures formant les résines ou les diverses essences oxydées? C'est ce que des expériences ultérieures nous permettront peut-être de décider. Dès maintenant, nous nous contentons de disposer en deux séries les feuilles des plantes étudiées, plaçant d'un côté celles qui assimilent l'oxygène par la respiration et de l'autre celles qui ne l'assimilent pas.

On voit que les plantes indiquées dans la colonne de gauche contiennent peu de résines ou d'huiles essentielles, tandis que celles figurées dans la colonne de droite en sont abondamment pourvues.

TABLEAU XI. — VALEURS DE $\frac{CO^2}{O}$ POUR DIFFÉRENTES FEUILLES ADULTES.

1° PAS D'ASSIMILATION de l'oxygène par la respiration.		2° ASSIMILATION de l'oxygène par la respiration.	
ESPÈCES ÉTUDIÉES.	$\frac{CO^2}{O}$	ESPÈCES ÉTUDIÉES.	$\frac{CO^2}{O}$
Fusain du Japon.	1,0	Pin maritime.	0,85
Marronnier d'Inde.	1,0	Pin d'Alep.	0,8
Lilas.	1,0	Pin des Canaries.	0,9
Lierre.	1,0	Pin sylvestre.	0,8
Blé.	1,0	Pin Pignon.	0,8
		If.	0,9
		Eucalyptus globulus.	0,8
		Ruta angustifolia.	0,7

2° *Respiration des Algues.* — Nous avons fait quelques essais avec d'autres tissus à chlorophylle. Deux espèces d'Algues, l'une aérienne, l'autre marine, ont été étudiées.

Des échantillons frais en très bon état de *Fucus canaliculatus* ont été placés pendant quelque temps dans l'appareil (voy. tableau X). Ils y respiraient normalement, comme lorsqu'ils sont dans l'air, à marée basse. Dans ces conditions, ils ont révélé une absorption d'oxygène considérable; il entrait dans les tissus, par la respiration, deux fois plus d'oxygène que n'en contenait l'acide carbonique émis; la valeur du rapport $\frac{CO^2}{O}$ est 0,5.

Des Nostocs (*Nostoc commune*) dont nous avons eu à notre disposition une grande quantité à l'état frais et parfaitement normal, grâce à l'obligeance de M. Bornet, nous ont donné une absorption encore plus forte, comme l'indiquent les expériences du tableau X ; les valeurs du rapport $\frac{CO^2}{O}$ sont 0,38 et 0,43.

Mais ces deux expériences d'essai ne peuvent nous permettre d'en déduire une conclusion générale relative aux Algues.

VII. — Variations de l'intensité respiratoire avec la température.

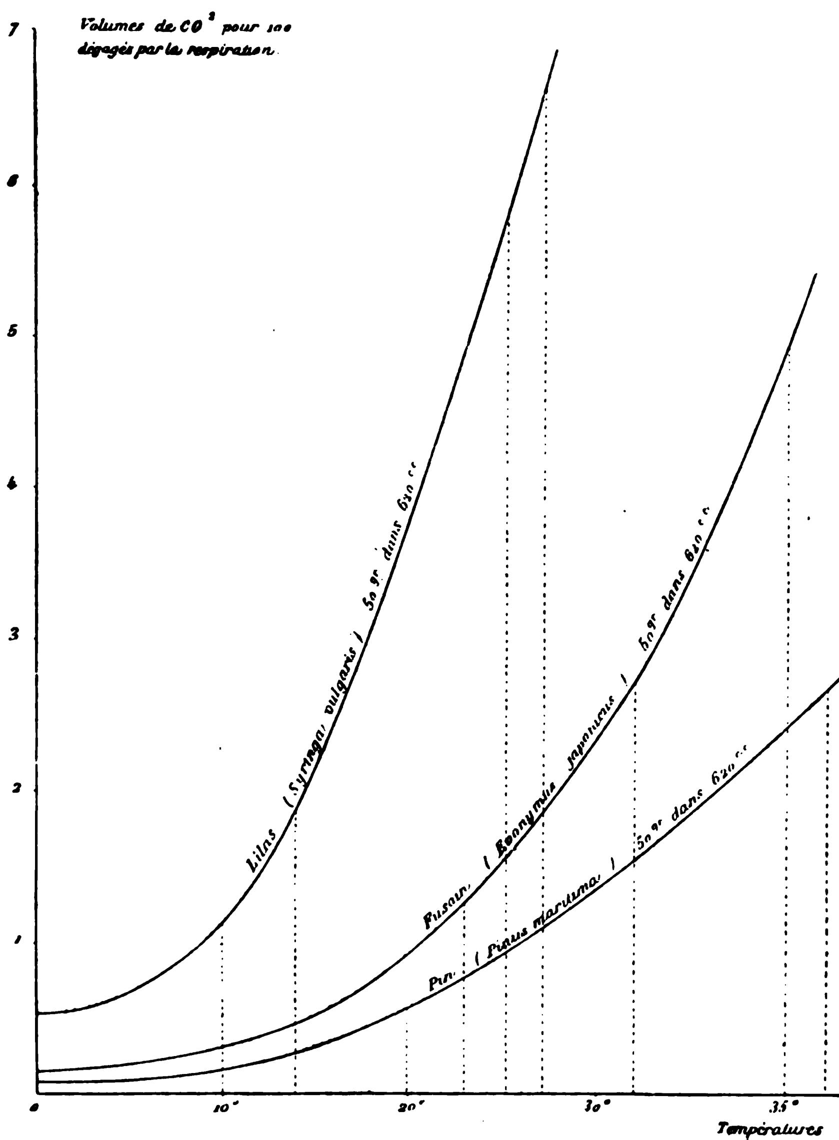
En consultant les divers tableaux d'expériences, on peut déjà se rendre compte des variations de l'intensité de la respiration avec la température ; mais on en jugera mieux par les courbes que représente la figure ci-contre. Ces courbes indiquent la marche de l'intensité pour trois espèces, le Marronnier, le Fusain du Japon et le Pin maritime.

Les températures successives étant comptées sur la ligne des abscisses, les ordonnées indiquent pour chaque espèce le volume d'acide carbonique dégagé pour 100 dans le même temps, par les mêmes individus placés dans un même volume d'air. Puisque, comme nous l'avons démontré plus haut, le rapport $\frac{CO^2}{O}$ est invariable avec la température, les courbes qu'on obtiendrait en représentant l'absorption d'oxygène seraient identiques à celles-ci pour le cas où $\frac{CO^2}{O} = 1$ et semblables pour le cas où $\frac{CO^2}{O}$ est plus petit que l'unité. On peut donc dire qu'elles représentent, d'une manière générale, les variations de l'intensité respiratoire avec la température.

On voit que l'intensité de la respiration, déjà sensible à zéro, augmente d'abord lentement avec la température, puis de plus en plus rapidement.

En outre, comme pour le même poids des trois espèces citées, le volume des gaz échangés est différent, les trois cour-

bes ne sont plus identiques, mais toutes trois sont des para-



Courbes représentant la variation de l'intensité respiratoire avec la température.

boles et peuvent se représenter par conséquent suivant la for-

mule établie par M. de Fauconpret (1) $Q = a + bt^2$; a et b étant des constantes.

Ainsi, nous pouvons déduire de ces résultats que :

1° *L'intensité de la respiration augmente avec la température et la loi de cette augmentation peut s'exprimer par une formule parabolique ;*

2° *Il n'y a pas d'optimum pour la respiration.*

CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

Les résultats des expériences que nous avons entreprises au sujet de la respiration des feuilles, maintiennent la corrélation qui existe, pour un même individu à un état donné, entre les volumes de gaz émis et absorbés dans l'acte respiratoire. Ces résultats obtenus pour les tissus verts à l'obscurité sont semblables à ceux que nous avions publiés pour les tissus sans chlorophylle.

Ainsi se trouve démontrée, contrairement aux assertions de MM. Dehérain et Moissan, la constance du rapport du volume de l'acide carbonique émis au volume d'oxygène absorbé, quelle que soit la température, et aussi, comme M. Godlewski l'avait prouvé pour les graines germant, quelle que soit la pression.

Les principales lois que nous avons énoncées pour les tissus sans chlorophylle s'appliquent donc aussi aux tissus verts respirant à l'obscurité, et il est à supposer que ces lois sont les mêmes pour la respiration des tissus chlorophylliens à la lumière. C'est ce qu'il nous reste à démontrer.

Dès à présent, pour la respiration des tissus verts à l'obscurité, nous pouvons formuler les conclusions suivantes :

1° *Le rapport* $\frac{CO^2}{O}$ *du volume de l'acide carbonique émis par la respiration au volume d'oxygène absorbé est constant, quelle que soit la température ;*

(1) *Sur la respiration des plantes*, Comptes Rendus, 1864.

2° *Dans des limites très étendues, ce rapport est également constant, quelle que soit la pression ;*

3° *La valeur de ce rapport pour les feuilles adultes d'une espèce donnée est une constante spécifique.* Sa valeur est égale à l'unité pour certaines feuilles (Lilas, Lierre, Fusain, Blé, Marronnier, etc.); elle est plus petite que l'unité (0,7 à 0,9), pour d'autres espèces qui, on peut le remarquer, sont riches en résines ou en huiles essentielles (Rue, Eucalyptus, Pin maritime, Pin Sylvestre, Pin d'Alep, etc.). La valeur constante de ce rapport peut même s'abaisser au-dessous de 0,5 pour certaines espèces d'Algues (*Fucus*, Nostocs).

4° *L'intensité de la respiration augmente avec la température et varie avec les diverses températures de manière que la courbe des intensités est représentée par une parabole.*

Ces conclusions, jointes à celles que nous avons déjà publiées dans nos recherches antérieures, nous semblent justifier pleinement le maintien du mot *respiration* pour désigner le lien qui existe, dans des conditions déterminées, entre la quantité d'oxygène absorbée et la quantité d'acide carbonique émise par les tissus vivants.

(Ce travail a été fait au Laboratoire des recherches botaniques de l'École Normale Supérieure.)

CONES DE FRUCTIFICATION DE SIGILLAIRES

Par M. R. ZEILLER

La question du mode de fructification des Sigillaires a constitué jusqu'à présent l'un des problèmes les plus obscurs de la Paléontologie végétale. Malgré les recherches faites depuis tant d'années et le grand nombre d'empreintes recueillies dans les houillères d'Europe et d'Amérique, on n'avait jamais trouvé d'épis de fructification en relation directe avec des tiges de Sigillaires, ni susceptibles par leurs caractères extérieurs d'être rapportés avec certitude à ce genre de plantes, et l'on en était réduit à des attributions hypothétiques.

En 1855, Goldenberg avait, il est vrai, figuré comme appartenant au genre *Sigillaria*, des épis rencontrés par lui dans le bassin de Saarbrück (1), et il avait cru même pouvoir les rapporter spécifiquement, les uns au *Sig. tessellata* (2), les autres au *Sig. regmostigma* (3); ces épis étant composés de bractées portant à leur base élargie un amas de spores, l'auteur de la *Flore fossile de Saarbrück* s'appuyait sur ce caractère pour rapprocher les Sigillaires des *Isoetes*, au même titre que l'on rapproche les *Lepidodendron* des Lycopodiacées actuelles. Mais il n'avait donné, comme le firent remarquer plus tard M. Binney (4) et plusieurs autres paléontologistes, aucune preuve à l'appui de cette attribution au genre *Sigillaria* d'épis trouvés simplement associés à des débris de troncs de Sigillaires et non en rapport immédiat avec eux.

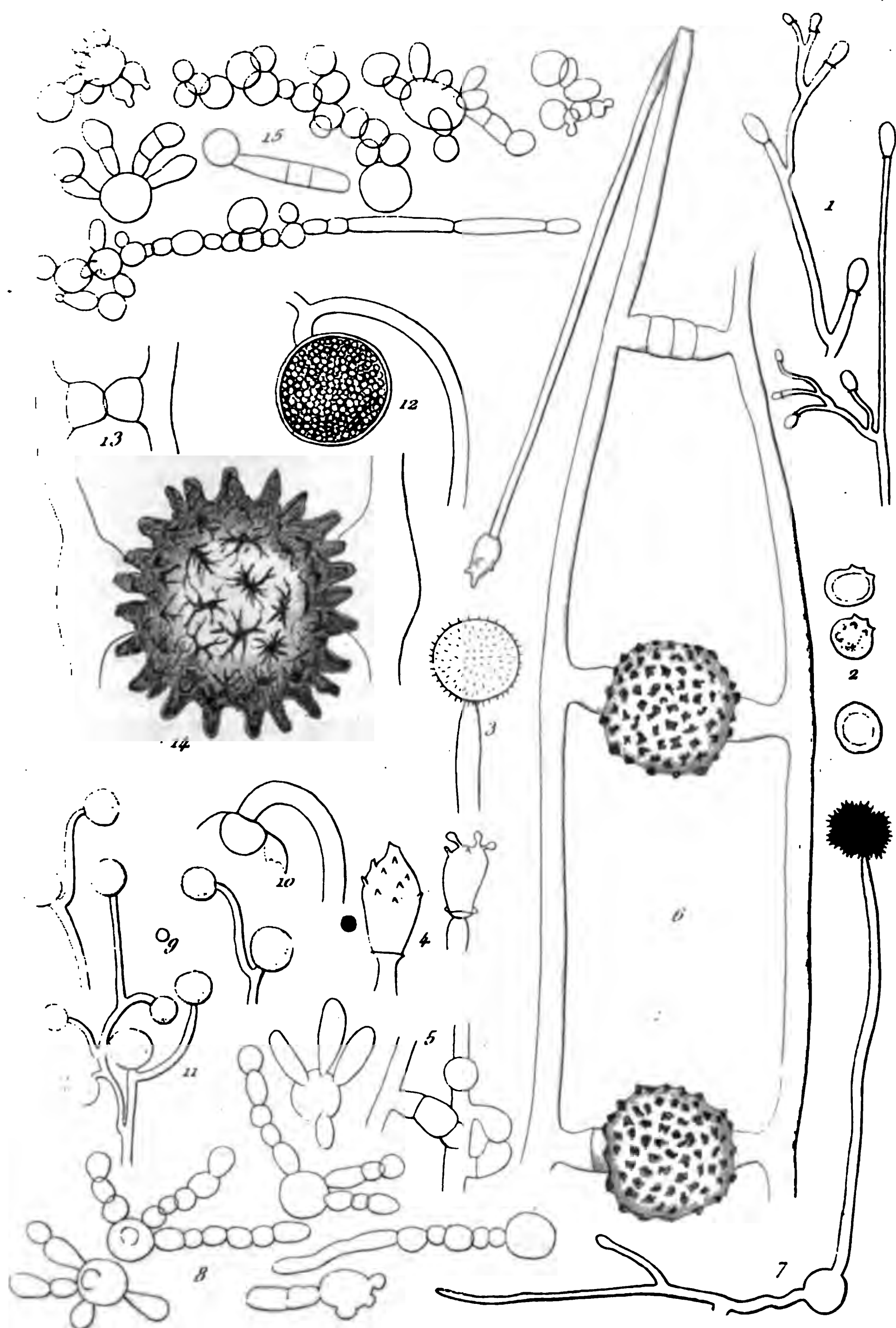
A son tour, M. Binney figura, en 1865, un cône constitué

(1) *Flora Saræpontana fossilis*, Ies Heft (1855), p. 25, pl. B, fig. 18 à 25, pl. IV, fig. 3; IIes Heft (1857), p. 1 et 19, pl. X, fig. 1, 2.

(2) *Loc. cit.*, pl. X, fig. 1.

(3) *Loc. cit.*, p. 42, 43, 59.

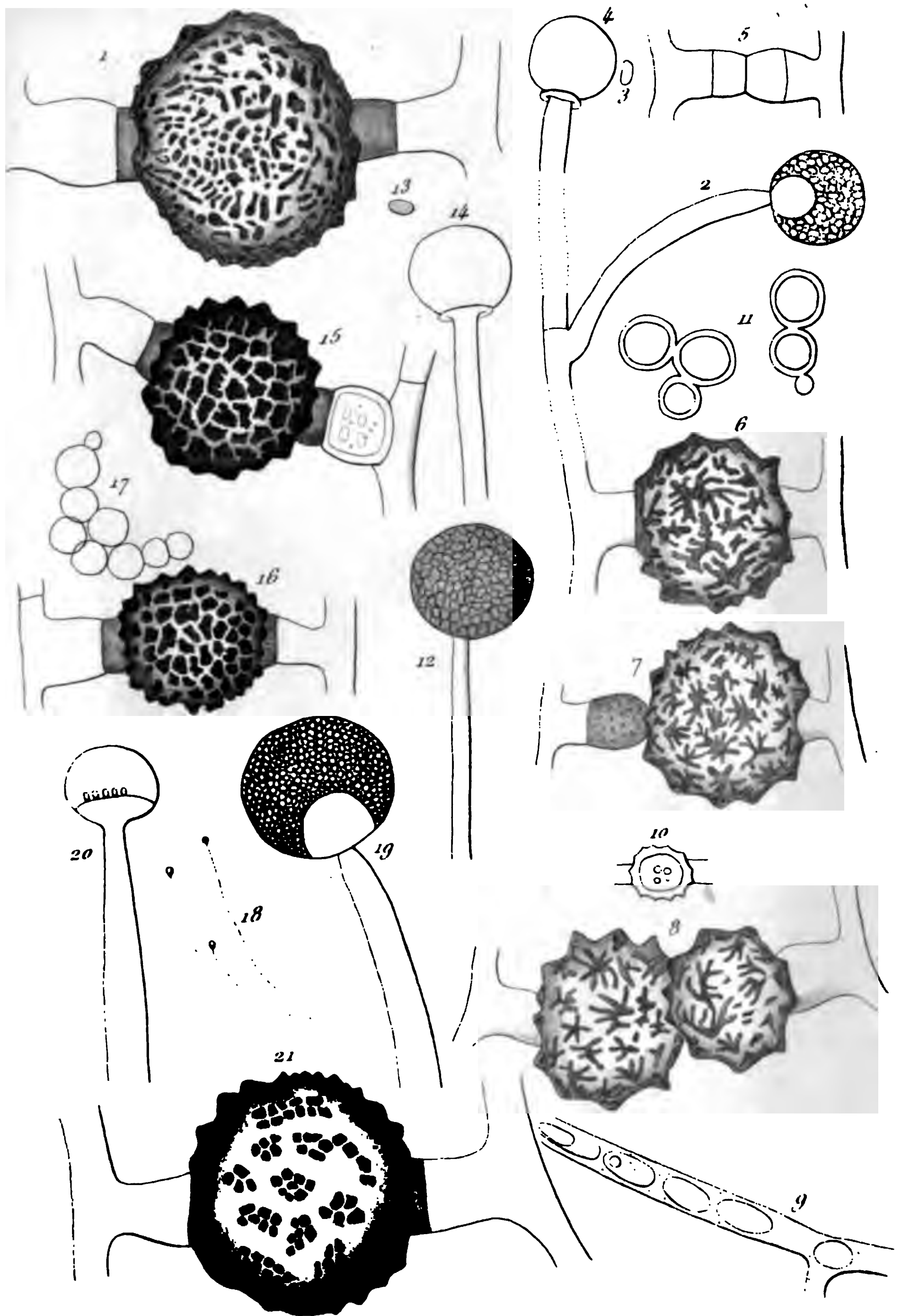
(4) E.-W. Binney, *A description of some fossil plants showing structure found in the lower coal-seams of Lancashire and Yorkshire* (*Philosoph. Transactions of the Roy. Soc.*, t. CLV, p. 595).



Bainier del. Pierre sc.

Zygospores de Mucorinées.

Imp. Lemercier et Cie. Paris



Bainier del.

Pierre sc.

Zygospores de Mucorinées.

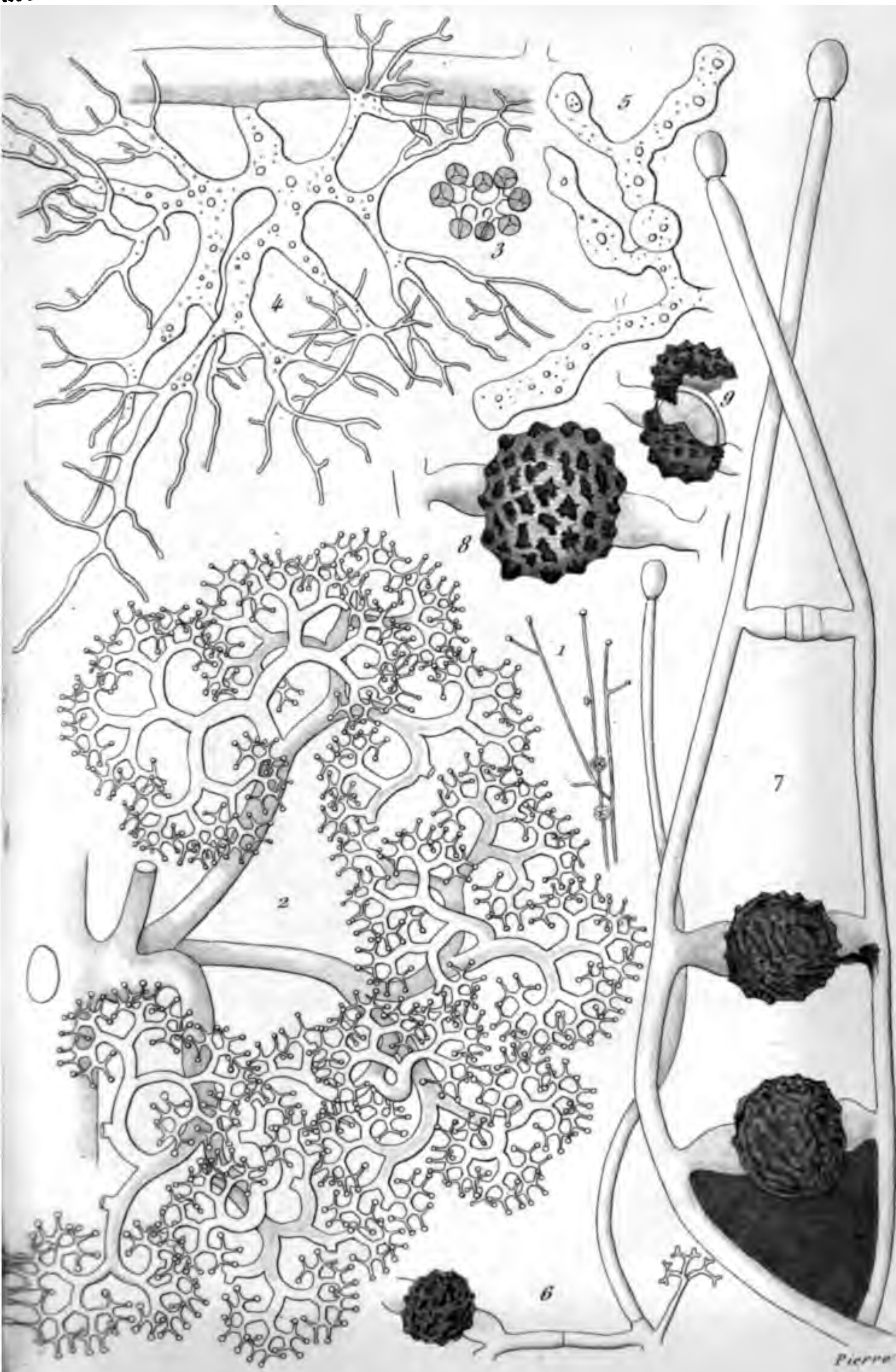
Imp. Lemercier et Cie Paris



Bainier del.

Zygospores de Mucorinées.

Imp. Lemercier et Cie Paris.



...nier del. Pierre sc.

Zygospores de Mucorinées.

comme un *Lepidostrobus* (1), à bractées sporangifères insérées un peu obliquement, dont l'axe lui parut présenter des caractères de Sigillaire; mais il est facile de constater, sur la figure qu'il en a donnée, que les cicatrices dont cet axe est muni ne présentent ni la disposition en files verticales bien nettes, ni la forme, ni les cicatricules internes, qu'on observe chez les Sigillaires.

Dans son travail sur la flore houillère de la Bohême, M. O. Feistmantel figura également, comme appartenant à des Sigillaires, plusieurs grands cônes de fructification, construits sur le même type que ceux qu'avait publiés Goldenberg, mais de dimensions plus considérables (2), et dont l'attribution était d'ailleurs tout aussi hypothétique.

Enfin, M. Grand' Eury a décrit et figuré sous le nom de *Sigillariostrobus rugosus* un grand épi qui paraît, d'après les cicatrices observées à sa base et les rides caractéristiques des coussinets foliaires, appartenir positivement au *Sigillaria lepidodendrifolia* (3); mais l'échantillon d'après lequel a été faite la figure restaurée qu'il en donne est fort incomplet et mal conservé à la partie supérieure, il ne laisse voir aucune trace des corps que devaient porter les bractées et ne fournit, en somme, aucun renseignement sérieux. M. Grand'Eury a pu, il est vrai, observer quelques corps arrondis entre les écailles d'un autre cône, le *Sigillariostrobus mirandus*, mais il est resté dans l'incertitude sur leur vraie nature, et cet échantillon est, d'ailleurs, assez différent du précédent pour qu'on puisse hésiter à le regarder comme appartenant au même genre. Il a figuré aussi (4) des feuilles de Sigillaires qu'il suppose, mais avec beaucoup de réserve, avoir porté à leur base une graine unique, et qui ne montrent, à mon avis, d'après

(1) *Loc. cit.*, p. 595, fig. 6.
(2) *Die Versteinerungen der Böhmischen Kohlenablagerungen. Palæontographica*, t. XXIII (1875), p. 250 à 258; pl. LX.
(3) *Flore carbonifère du département de la Loire et du centre de la France* (1877), p. 160, pl. XIV, fig. 4.
(4) *Ibid.*, p. 163, pl. XIV, fig. 7 et 7'.

les observations que j'ai pu faire sur d'autres feuilles analogues, que leur cicatrice d'attache imparfaitement conservée. Sa conclusion, d'ailleurs, est que les appareils de fructification des Sigillaires restent à trouver avec certitude, et il ne signale, dit-il, les indices qu'il a recueillis « que pour éveiller l'attention des observateurs sur une solution possible du plus important problème de la paléontologie végétale ».

La connaissance des organes fructificateurs de ce genre présentait, en effet, un intérêt tout spécial en raison des divergences d'opinions auxquelles étaient arrivés les divers savants qui avaient cherché à déduire de la structure anatomique des Sigillaires la place à leur attribuer dans la classification.

Le premier échantillon à structure conservée a été, comme on sait, trouvé à Autun et décrit avec détails, en 1839, par Ad. Brongniart (1), qui conclut, de la présence d'un tissu ligneux « en faisceaux composés de séries rayonnantes », que les Sigillaires appartenaient probablement aux Dicotylédones gymnospermes. Cette attribution, admise par un grand nombre de paléontologistes, notamment par Gœppert et par M. Dawson, a été, comme on sait, fortement appuyée dans ces dernières années par les études entreprises par M. B. Renault, d'abord sur le *Sigillaria spinulosa*, en collaboration avec M. Grand'Eury (2), puis sur une série d'autres échantillons, parmi lesquels il faut citer une Sigillaire cannelée, probablement le *Sig. Saullii* (3).

M. Williamson avait également, de son côté, reconnu sur des Sigillaires cannelées, mais impossibles à déterminer spécifiquement avec certitude, une structure concordant avec les observations précédentes. On se trouvait ainsi avoir pu étu-

(1) *Observations sur la structure intérieure du* Sig. elegans *comparée à celle des* Lepidodendron *et des* Stigmaria *et à celle des végétaux vivants. Archives du Muséum*, t. I, p. 405 à 461 ; pl. XXV à XXXV.

(2) *Recherches sur les végétaux silicifiés d'Autun. Étude du* Sig. spinulosa (*Mém. présentés par divers savants à l'Acad. d. sciences*, t. XXII, n° 9, 1876).

(3) *Structure comparée de quelques tiges de la flore carbonifère* (*Nouvelles Archives du Muséum*, 2e série, t. II, p. 213. 1879). — *Cours de botanique fossile*, 1re année (1881), p. 138 ; 2e année (1882), p. 58 ; 3e année (1883), p. 1.

dier des types de chacun des sous-genres dont se compose le genre Sigillaire, *Clathraria*, *Leiodermaria* et *Rhytidolepis*, car c'est au premier de ces trois groupes qu'appartient, en réalité, l'échantillon d'Autun décrit par Ad. Brongniart comme *Sig. elegans* : l'absence de côtes saillantes, la forme même des cicatrices foliaires et des mamelons sur lesquels elles sont portées, conduisent, en effet, à le rapporter au *Sig. Menardi*, lequel n'est, selon toute vraisemblance, que la forme jeune du *Sig. Brardi* (1).

Toutes ces observations, parfaitement concordantes, avaient confirmé et complété celles de Brongniart, et la présence d'un double bois, le primaire centripète, le secondaire centrifuge, tant dans les cordons foliaires que dans la tige elle-même, avait amené M. B. Renault à rapprocher formellement les Sigillaires des Cycadées.

En Angleterre, au contraire, MM. Binney, Carruthers et Williamson étaient arrivés à des conclusions tout à fait opposées. M. Binney, après avoir étudié plusieurs échantillons désignés par lui sous le nom de *Sig. vascularis*, était amené à penser que les Sigillaires présentaient, dans toutes leurs parties, une étroite analogie avec les *Lepidodendron* (2). M. Williamson, dans ses remarquables travaux sur l'organisation des plantes fossiles du terrain houiller (3), arrivait à la même conclusion : ayant examiné un grand nombre d'échantillons provenant des mêmes gisements, les uns de Burnt island, les autres d'Arran, il avait constaté que les rameaux de petite taille, c'est-à-dire jeunes, ne possédaient jamais

(1) Le *Sig. elegans* correspond du reste à un niveau plus ancien que celui des quartz d'Autun et ne paraît pas s'élever au-dessus de l'étage de Rive-de-Gier dans le houiller supérieur.

(2) *Quarterly Journal of the geol. Soc.*, t. XVIII (1862), p. 106. — *Philosoph. Transactions*, t. CLV (1865), p. 579, p. 591. — *Palæontographical Society*, t. XXIX (1875), p. 97, p. 147.

(3) *On the organization of the fossil plants of the Coal-Measures. Philosoph. Transactions*, t. CLXII (1872), p. 197 (part. II) et p. 283 (part. III) ; t. CLXIX (1878), p. 319 (part. IX) ; t. CLXXI (1880), p. 493 (part. X) ; t. CLXXII (1881), p. 283 (part. XI).

qu'un bois primaire centripète et avaient, par conséquent, la structure des *Lepidodendron*, se rapportant d'ailleurs à ce genre par leurs caractères extérieurs, tandis que les tiges plus grosses, présentant en outre un bois secondaire centrifuge d'autant plus développé que le diamètre de l'échantillon était plus considérable, rentraient, au point de vue anatomique, dans le genre *Diploxylon*, étroitement lié par sa structure au genre *Sigillaria*. Ne pouvant admettre qu'on ne trouvât pas dans le même gisement les divers âges de la même plante, et n'ayant observé à Arran que des *Lepidodendron* et pas une seule véritable Sigillaire, il était conduit à considérer ces rameaux de *Diploxylon* comme devant représenter l'état âgé des *Lepidodendron* dont les jeunes rameaux ne lui avaient offert qu'un bois primaire centripète. Il en concluait que les *Lepidodendron* possédaient, arrivés à un certain âge, un double bois semblable à celui des Sigillaires et qu'ainsi ce caractère, d'un bois secondaire centrifuge, loin de conduire à rattacher les Sigillaires aux Gymnospermes, tendait, au contraire, à les rattacher intimement aux *Lepidodendron*, dont la nature cryptogamique n'a jamais été révoquée en doute.

Il a exposé ici même, avec M. Hartog (1), le résumé de ses idées à ce sujet, combattant très vivement les conclusions opposées des paléontologistes français. Mais quelque vraisemblance qu'il y eût à admettre une origine commune pour les rameaux de taille graduellement croissante trouvés, soit à Burntisland, soit à Arran, et à les considérer comme répondant aux divers âges de plantes identiques, un point important manquait, comme l'a fait remarquer M. B. Renault, pour rendre ces conclusions inattaquables, c'était la détermination générique rigoureuse, par les caractères extérieurs, des échantillons de *Diploxylon* rencontrés dans ces gisements.

M. Williamson avait seulement figuré un coussinet foliaire lépidodendroïde qui *paraissait*, dit-il, correspondre au moule

(1) *Les Sigillaires et les Lépidodendrées*. (*Ann. d. sc. nat.*, 6e sér., *Bot.*, t. XIII, p. 337.)

de la surface extérieure d'une de ces grosses tiges (1); de plus, il avait, avec M. Carruthers, rapporté au genre *Lepidodendron* les tiges de *Sigillaria vascularis* figurées par M. Binney (2), dont la surface extérieure, encore munie de coussinets foliaires, offrait en effet plutôt l'aspect de ce genre que du genre *Sigillaria*. Mais ces déterminations mêmes n'étaient pas absolument indiscutables, les échantillons en question étant décortiqués et n'offrant aucune cicatrice foliaire bien conservée.

On était évidemment en droit, dans une question si délicate et si controversée, de ne pas se contenter d'inductions ni de déterminations approchées, quel qu'en fût le degré de probabilité, et d'exiger, avec des faits positifs établissant la dépendance formelle des échantillons étudiés, des déterminations absolument sûres. Aussi ne faut-il pas s'étonner si l'existence d'un bois secondaire centrifuge chez les *Lepidodendron* âgés, qui constituait l'argument essentiel des savants anglais, n'a pas été considérée par tous les botanistes comme un fait définitivement acquis à la science. M. Van Tieghem notamment paraît ne pas l'avoir admis, bien qu'il ait apporté un argument de la plus haute importance en faveur de l'attribution des Sigillaires aux Cryptogames et les ait rangées lui-même parmi les Lépidodendrinées (3). Il a montré, en effet, rappelant une observation faite en 1872 par M. Russow et qui semble avoir échappé à la plupart des paléontologistes, que les *Botrychium* possèdent un bois secondaire à développement centrifuge partagé en compartiments par des rayons unisériés, et que, par conséquent, l'existence d'un tissu ligneux ainsi constitué ne peut plus être considérée comme incompatible avec les Cryptogames vasculaires. Il a ajouté que

(1) *Philosoph. Transactions*, t. CLXXI, p. 498, pl. XIV, fig. 7.

(2) *Quarterly Journal of the geol. Soc.*, t. XVIII, pl. IV, fig. 1, et pl. V, fig. 1. — *Philosoph. Transactions*, t. CLV, pl. XXXV, fig. 6.

(3) *Sur quelques points de l'anatomie des Cryptogames vasculaires. Bull. de la Soc. bot. de France*, t. XXX (1883), p. 169, 175. — *Traité de botanique*, (1884), p. 1305, 1308.

les tubes à ponctuations aréolées qui, dans la tige des *Sphenophyllum*, entourent l'axe triangulaire central, devaient être considérés comme représentant les éléments d'un bois secondaire à développement centrifuge, de telle façon que les *Sphenophyllum*, qui sont bien reconnus comme Cryptogames, auraient possédé, comme les Sigillaires, deux bois à développement opposé, le primaire centripète et le secondaire centrifuge. Il a conclu en conséquence, comme les paléontologistes anglais, à la nature cryptogamique des Sigillaires, et les a placées, avec les *Sphenophyllum*, dans la famille des Lépidodendrinées.

Les observations que j'ai pu faire récemment sur des cônes de fructification de Sigillaires bien conservés confirment cette manière de voir et fixent définitivement la place du genre *Sigillaria* parmi les Cryptogames vasculaires, dans la classe des *Lycopodinées*.

J'avais observé à différentes reprises, dans le bassin houiller du Nord, où les Sigillaires sont très abondantes, des épis de fructification constitués comme ceux que Goldenberg a attribués à ces plantes, mais il m'avait été impossible de saisir aucun indice établissant l'origine de ces épis, et M. l'abbé Boulay, qui en avait également recueilli un échantillon à Anzin, avait exprimé des doutes sérieux sur la légitimité de cette attribution (1). M. Brun, directeur des houillères de l'Escarpelle, ayant bien voulu, sur ma demande, faire mettre de côté un grand nombre d'empreintes végétales rencontrées dans les travaux d'exploitation de ces houillères, j'ai trouvé, dans la collection ainsi formée, plusieurs grands cônes plus ou moins longuement pédonculés, appartenant les uns et les autres au même type spécifique, et dont quelques-uns sont assez bien conservés pour qu'on puisse reconnaître, d'une part à quel genre de plante ils ont appartenu, d'autre part quelle est la nature des organes reproducteurs qu'ils contiennent.

(1) *Le terrain houiller du Nord de la France et ses végétaux fossiles* (1876), p. 48.

La figure 1, pl. 11, représente le mieux caractérisé d'entre eux; il est, comme on peut le voir, porté à l'extrémité d'un pédoncule droit, muni de nombreuses feuilles aciculaires, dressées, longues de $0^m,03$ à $0^m,04$, dont la base d'attache est, sur la portion inférieure du pédoncule, parfaitement visible. Au-dessous de chacune de ces bases d'attache, on voit sur le coussinet foliaire une série de rides transversales très accentuées; les coussinets sont superposés directement les uns aux autres en files verticales nettement distinctes, leur contour est légèrement ondulé, et dans les parties les mieux conservées on distingue, comme le montre la figure grossie 1 *a*, la forme des disques d'insertion des feuilles, en hexagones à demi réguliers, à côtés inférieurs arrondis, à côté supérieur très réduit et légèrement échancré ; chaque feuille est munie d'une nervure médiane comprise entre deux plis longitudinaux parallèles très rapprochés, dont l'origine est marquée par un point saillant, correspondant à l'une des cicatricules latérales qui, dans les Sigillaires et les *Lepidodendron*, flanquent de part et d'autre la cicatricule vasculaire. L'importance relative de ces deux cicatricules, la forme de la base d'attache des feuilles, c'est-à-dire de la cicatrice foliaire, l'absence complète de carène sur le dos des coussinets, enfin la disposition de ceux-ci en files verticales bien distinctes, sont autant de caractères propres au genre *Sigillaria*, et l'on peut affirmer positivement que ces cônes appartiennent à une Sigillaire; ils sont même presque déterminables spécifiquement, la forme des cicatrices foliaires et la disposition des rides qu'on observe sur les coussinets présentant une analogie marquée avec la forme et la disposition des mêmes parties chez le *Sig. scutellata* (1), ainsi qu'on peut s'en assurer en comparant la figure 1 *a* avec la figure 3, qui représente une

(1) J'ai, dans une note préliminaire (*Comptes rendus*, t. XCVIII, p. 1603, 30 juin 1884), cité par erreur, au lieu de cette espèce, le *Sig. elliptica*, lui ayant rapporté à tort (*Explication de la Carte géol. de la France*, t. IV, Atlas, pl. CLXXIII, fig. 1) certaines formes qui, en réalité, se rattachent au *Sig. scutellata*.

portion de côte de cette espèce; mais la ressemblance est peut-être plus grande encore avec le *Sig. polyploca* (fig. 2), qui présente des coussinets à contour beaucoup plus nettement ondulé, et qui est précisément assez répandu dans la veine n° 3 de la fosse n° 4 de la concession de l'Escarpelle, dans laquelle ont été rencontrés les cônes qui m'occupent en ce moment. On ne saurait toutefois les rapporter avec une entière certitude à cette dernière espèce plutôt qu'au *Sig. scutellata*, le développement des côtes avec l'âge pouvant tout aussi bien avoir pour effet d'atténuer que d'accentuer les ondulations des coussinets foliaires, qu'on remarque sur les figures 1 et 1 *a*, suivant que l'accroissement en longueur l'emporterait ou non sur l'accroissement en diamètre.

Au sommet du pédoncule, les feuilles se transforment en bractées, insérées obliquement sur l'axe du cône, uninerviées, légèrement canaliculées sur le dos, longues de 0^{m},015 à 0^{m},020, larges de 0^{m},004 à 0^{m},006, de forme ovale lancéolée, atténuées en pointe au sommet et brusquement rétrécies vers la base, ainsi que le montrent d'autres échantillons sur lesquels on distingue l'insertion même de ces bractées, tel que celui qui est représenté figures 4, 4 *a*, planche 11 ; sur quelques empreintes, du reste, on voit aussi des bractées éparses, détachées complètement de l'axe qui les portait, et dont la forme est alors nettement visible. Entre les bractées encore en place et à leur base, on aperçoit, parfois en grande abondance, des corps ronds, de près de 0^{m},002 de diamètre, parfaitement lisses, mais marqués de trois stries divergentes faisant entre elles des angles de 120 degrés et souvent raccordées l'une à l'autre à leurs extrémités par trois arcs de cercle légèrement saillants (fig. 4 *b*). Ces corps se montrent souvent disséminés sans ordre ou même complètement échappés d'entre les bractées et répandus, à côté des cônes, sur les plaques de schiste ; mais souvent aussi on les trouve groupés sur la portion basilaire des bractées, qui présente la forme d'un coin, muni d'un pli médian très net, et séparé par un pli transversal de la portion limbaire; on n'aperçoit aucune trace d'enveloppe, mais

sur quelques-unes de ces bractées on discerne, au-dessus de la ligne qui sépare le limbe de l'onglet, une ligne légèrement arquée qui pourrait bien correspondre à l'attache d'une membrane ayant originairement recouvert les corps en question.

Ces corps présentent tout à fait les caractères de spores: les petits disques charbonneux qui les représentent ne montrent aucune cicatricule indiquant un point d'attache, soit qu'on les détache de la roche, soit qu'on observe un assez grand nombre de ces corps pour être sûr de les bien examiner sous toutes leurs faces; les trois stries divergentes dont ils sont munis sont un des caractères les plus saillants des spores des Lycopodinées hétérosporées, *Selaginella* et *Isoetes*, et ils ressemblent surtout beaucoup aux macrospores de ce dernier genre par les trois arcs qui réunissent ces stries l'une à l'autre et divisent la surface de la sphère en deux zones inégales. Mais leur grande dimension pourrait faire hésiter à les considérer comme des macrospores, et l'on serait en droit de se demander, comme l'a fait M. O. Feistmantel (1), s'ils ne représenteraient pas plutôt des sporanges, ou bien des sacs polliniques, ou même des graines. J'ai donc cherché à m'assurer, par un examen microscopique, de leur signification réelle: après en avoir détaché quelques-uns de la roche, je les ai traités par l'acide nitrique et le chlorate de potasse et je les ai lavés ensuite, suivant la méthode indiquée par M. v. Gümbel (2), avec l'alcool absolu, de manière à les rendre suffisamment translucides. Les spores sont, comme on l'a fait remarquer, parmi les corps organisés transformés en houille, ceux peut-être qui résistent le plus énergiquement à l'action des réactifs oxydants; aussi n'est-ce qu'après plusieurs tentatives infructueuses que j'ai réussi à en obtenir une préparation convenable, sur laquelle j'ai pu constater positivement que la paroi de ces corps était unicellulaire. Ce sont

(1) *Palæontographica*, t. XXIII, p. 250.

(2) *Sitzungsber. d. k. Bayer. Akad. d. Wissenschaften. Math. phys. Cl.*, 1883, p. 114. — *Annales des Mines*, 8e série, t. III (1883), p. 469.

donc bien des spores, comme le faisait présumer leur aspect extérieur, et il faut, par conséquent, ranger décidément les Sigillaires parmi les Lycopodinées; j'examinerai plus loin s'il est possible de leur assigner dans cette famille une place nettement déterminée.

Les cônes dont je viens de parler étant positivement des cônes de Sigillaires, je leur appliquerai le nom générique de *Sigillariostrobus* proposé par Schimper (1) pour les cônes de Goldenberg, dont ils ne diffèrent guère, au reste, que par leur taille beaucoup plus grande et par quelques détails secondaires; et comme je ne puis déterminer avec une certitude complète quelle est l'espèce sur le tronc de laquelle ils ont dû être portés, ainsi qu'il arrive si souvent en paléontologie végétale, je les désignerai sous le nom de *Sigillariostrobus Tieghemi*, les caractères spécifiques étant les suivants : pédoncule large de $0^m,007$ ou $0^m,008$; feuilles aciculaires longues de $0^m,03$ à $0^m,04$, à base d'attache en forme d'hexagone à côté supérieur très étroit, à angles inférieurs arrondis, portées sur des coussinets légèrement saillants, larges de $1^{mm},25$ à 2 millimètres, ridés transversalement, à contour ondulé, hauts de $0^m,008$ environ; axe du cône large de $0^m,005$ à $0^m,007$; bractées ovales lancéolées, uninerviées, disposées en verticilles, longues de $0^m,015$ à $0^m,020$, larges de $0^m,004$ à $0^m,006$, brusquement rétrécies en onglet à la base, étalées-dressées, portant des spores (macrospores?) entièrement *lisses*, de $0^m,002$ de diamètre, marquées de trois stries divergentes réunies l'une à l'autre par trois arcs légèrement saillants. La largeur totale de ces cônes est de $0^m,03$ à $0^m,05$; quant à leur longueur, il est impossible de la préciser, aucun échantillon n'étant complet; sur le plus grand d'entre eux, la portion comprise entre la base même du cône et le point où il est rompu mesure $0^m,12$ de long.

Je vais maintenant passer en revue quelques autres cônes du même type que j'ai eu l'occasion d'examiner, mais dont

(1) *Traité de paléont. végét.*, t. II (1870), p. 105.

aucun ne présentait des caractères assez nets pour qu'on pût *à priori* voir avec certitude en eux des organes de fructification de Sigillaires. Les cônes de l'Escarpelle étant reconnus positivement pour tels, il s'ensuit que les autres appartiennent également au genre *Sigillaria*, mais correspondent à des espèces différentes.

Sigillariostrobus Souichi (pl. 11, fig. 5, 5 *a*, 5 *b*). — Ce fragment de cône, long de $0^{m},095$, donné à l'École des Mines par M. du Souich, inspecteur général des mines, provient des mines d'Anzin, fosse Renard, veine Président. La plaque de schiste qui porte l'empreinte est cassée à la base du cône, de manière à ne laisser voir qu'une très petite portion de l'extrémité du pédoncule, garnie de feuilles aciculaires, mais ne présentant aucune de leurs bases d'attache. L'axe du cône, large de $8^{mm},5$, se montre dans toute l'étendue de l'empreinte; il porte des cicatrices arrondies, légèrement saillantes, qui paraissent disposées en verticilles alternants, espacés d'environ $2^{mm},5$ ou 3 millimètres; il y aurait, autant qu'on peut voir, huit cicatrices par verticille; les bractées sont presque exactement semblables, comme forme et comme dimension, à celles du *Sigillariostrobus Tieghemi*, sauf que le contour en est peut-être plus arrondi et qu'elles ne paraissent pas aussi brusquement contractées à la base; elles sont légèrement canaliculées suivant leur nervure médiane, et portent à leur base des spores de $2^{mm},25$ de diamètre, à surface *verruqueuse*, présentant nettement les trois stries divergentes caractéristiques (fig. 5 *a*, 5 *b*); mais on ne voit pas ici d'arcs réunissant les extrémités de ces trois stries l'une à l'autre. La seule différence bien nette qui sépare cette espèce de la précédente est la dimension un peu plus grande des spores et surtout l'ornementation de leur surface, qui rappelle beaucoup celle des macrospores de divers *Isoetes*.

Il est impossible de préjuger à quelle espèce ce fragment de cône a pu appartenir.

Sigillariostrobus nobilis (pl. 12, fig. 1, 2, 2 *a*) — Les col-

lections de l'École des Mines renferment une autre plaque, provenant de la veine Printanière, fosse Thiers, de la concession d'Anzin, qui porte deux grands cônes, malheureusement incomplets l'un et l'autre, d'une largeur totale de 0^m,055 à 0^m,065, dont l'un mesure 0^m,28 depuis sa base jusqu'au point où il est interrompu, et dont l'autre, offrant une portion plus étendue du pédoncule qui le portait, est représenté planche 12, figure 2. Cette espèce diffère des deux précédentes par ses bractées beaucoup plus effilées et plus longues, atteignant 0^m,030 de longueur; ces bractées sont, comme celles du *Sig. Tieghemi*, contractées à la base en une sorte d'onglet; elles sont également uninerviées et légèrement canaliculées sur le dos. Elles étaient manifestement caduques, car la plaque en question en montre un grand nombre détachées et isolées (pl. 12, fig. 1). En un point de l'échantillon on voit une petite portion de l'empreinte laissée par l'axe du cone, qui offre des cicatrices verticillées placées dans le fond de petites dépressions, c'est-à-dire faisant sur l'axe lui-même une légère saillie; sur quelques-unes de ces cicatrices le contour est légèrement émarginé aux deux extrémités du diamètre vertical, comme si elles étaient formées de deux cicatrices contiguës accolées, ainsi qu'on l'observe sur certains *Syringodendron*, qui ne sont en réalité que des Sigillaires décortiquées.

Ce cône est porté, comme on le voit sur la figure 2, à l'extrémité d'un pédoncule recourbé, long de 0^m,10, qui semble avoir dû se détacher horizontalement du tronc pour se redresser ensuite; la base en est nue et lisse, mais l'extrémité en est munie de nombreuses feuilles aciculaires dressées, longues de 0^m,030 à 0^m,040; seulement les bases d'attache de celles-ci ne sont pas aussi nettes que celles du *Sig. Tieghemi*. On distingue cependant (fig. 2, 2 *a*) des coussinets légèrement saillants, à contour ondulé, qui paraissent bien disposés en files longitudinales et dont la surface est marquée de très fines ponctuations, à l'exception de la partie qui doit correspondre à l'insertion des feuilles. Quant au contour même du disque d'insertion, il n'est pas discernable, ou du moins pas

assez nettement pour qu'on puisse se rendre compte de sa forme; mais en deux points du pédoncule on distingue de petits traits qui semblent bien être des cicatricules semblables à celles des Sigillaires, deux arcs allongés flanquant de part et d'autre une trace ponctiforme (fig. 2 *a*); ils ne sont pas marqués avec assez de précision pour qu'on puisse affirmer qu'ils ne sont pas purement accidentels, toutefois la position qu'ils occupent vers le haut des coussinets correspond bien à la place de la cicatrice foliaire. Les ponctuations dont ces coussinets sont munis rappellent celles qu'on observe sur les côtes du *Sigillaria elongata* (pl. 12, fig. 7) et du *Sig. rugosa*. La première de ces deux espèces n'est, du reste, pas très rare dans la veine Printanière d'Anzin, et c'est précisément de cette veine que provient l'échantillon dont la figure 7 représente un fragment; quant à la seconde, elle a été rencontrée dans d'autres couches de la même concession peu éloignées de la veine Printanière. Si les traits observés sur le pédoncule représentent réellement des cicatricules, leur forme correspondant bien à celle des cicatricules du *Sig. elongata*, comme aussi, du reste, du *Sig. rugosa*, on pourrait penser avec assez de vraisemblance que ces cônes proviennent de l'une ou de l'autre de ces deux espèces; en tout cas, leur ressemblance avec le *Sigillariostrobus Tieghemi* ne permet pas de douter de leur attribution générique.

Sur aucun de ces deux cônes ni autour d'eux on n'aperçoit la moindre trace de spores, soit à la base des bractées, soit échappées d'entre celles-ci.

Sigillariostrobus Goldenbergi O. Feistmantel (pl. 12, fig. 3, 5, 6, 6 *a*). — M. O. Feistmantel a désigné sous ce nom (1) les cônes de Saarbrück figurés par Goldenberg (2), qu'il me paraît bien difficile, malgré les attributions que cet auteur en a faites, sans preuve à l'appui, du reste, à deux espèces différentes de

(1) O. Feistmantel, *Palæontographica*, t. XXIII, p. 253. *Sigillariæstrobus Goldenbergi*.

(2) Goldenberg, *loc. cit.*, pl. B, fig. 18 à 25; pl. IV, fig. 3; pl. X, fig. 2; *an* pl. X, fig. 1?

Sigillaria, de distinguer spécifiquement les uns des autres; l'échantillon de la planche X, figure 1, rapporté par Goldenberg au *Sig. tessellata*, aurait peut-être cependant les bractées un peu plus effilées et plus longues que les autres, et peut-être faut-il le laisser en dehors du groupe auquel j'applique ici le nom spécifique proposé par M. O. Feistmantel.

Le *Sigillariostrobus Goldenbergi* diffère des précédents par sa taille plus petite : l'axe a $0^m,006$ environ de diamètre, le cône lui-même n'a que $0^m,015$ à $0^m,020$ de largeur; les bractées n'ont que $0^m,012$ à $0^m,016$ de longueur sur une largeur de $0^m,004$ à $0^m,005$; elles sont d'ailleurs effilées en pointe aiguë vers le sommet et portent à leur base des spores d'environ $1^{mm},5$ de diamètre.

On trouve assez fréquemment, dans le bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais, des cônes appartenant à ce type spécifique, mais rarement bien conservés; l'axe est le plus souvent dépouillé du plus grand nombre de ses bractées, et celles-ci se rencontrent éparpillées à la surface des plaques de schiste; j'ai observé de ces débris de cônes à Marles, à Liévin, à Lens, à Nœux, à Courrières, dans le Pas-de-Calais, et à Anzin, dans le Nord. A Nœux notamment, j'ai rencontré trois de ces cônes immédiatement contigus, comme s'ils avaient été insérés l'un à la suite de l'autre en série verticale, sortant d'une masse serrée de très longues feuilles graminiformes identiques à celles des Sigillaires, mais ils étaient malheureusement mal conservés. Les meilleurs échantillons que j'ai pu examiner proviennent des mines du Grand-Buisson, près de Mons; les figures 3 et 5 de la planche 12 représentent deux de ces cônes qui se trouvent, avec plusieurs autres, disposés sans ordre sur une même plaque de schiste; la plupart d'entre eux sont encore portés sur des pédoncules de $0^m,15$ à $0^m,20$ de long, nus et lisses sur leur plus grande étendue, mais munis à leur sommet, sous la base même du cône, de feuilles aciculaires dressées, longues de $0^m,012$ à $0^m,015$, à la base desquelles on aperçoit seulement quelques rides et de fines ponctuations. L'axe a un diamètre de $0^m,006$ et porte une

série de cicatrices rondes, légèrement saillantes, disposées en verticilles alternants, distants de 0m,002 à 0m,003; il semble qu'il y ait eu dix bractées sur chacun de ces verticilles. Ces bractées, contractées en onglet à la base, sont tantôt dressées, tantôt étalées à angle droit; elles sont toutes marquées d'un pli longitudinal très net, aussi bien sur la portion limbaire que sur l'onglet; mais on ne voit nulle part aucune trace de spores.

Je n'en ai rencontré que sur un fragment de cône recueilli par moi à Marles, provenant de la veine Sainte-Barbe de cette concession. Ce fragment, représenté figure 6, planche 12, ne présente que des fragments de bractées, la partie inférieure de celles-ci ayant été arrachée avec la contre-empreinte; mais le diamètre du cône, la dimension et la forme de la partie terminale des bractées concordent assez exactement avec ce qu'on observe chez le *Sigillariostrobus Goldenbergi* pour que je croie pouvoir lui rapporter cet échantillon. Les bractées protectrices étant enlevées, on aperçoit une masse de spores empilées les unes sur les autres, de 0m,0014 de diamètre, dont la membrane a conservé encore une certaine élasticité, et qui se laissent assez aisément détacher (fig. 6 *a*). Il est facile, à l'aide des réactifs oxydants, d'en obtenir de bonnes préparations : j'ai pu ainsi constater que la membrane qui les constitue était aussi positivement continue et qu'il s'agissait bien de spores unicellulaires. Cette membrane est marquée des trois stries caractéristiques et se déchire souvent suivant leur direction, ainsi qu'il arrive lors de la rupture naturelle de l'exospore. La surface en est hérissée de très fines pointes rappelant celles qu'on observe sur les macrospores de l'*Isoetes echinospora*, mais plus petites et plus fines encore.

Les très légères ponctuations et les quelques rides qu'on distingue au sommet du pédoncule de ces cônes ne sont pas assez caractéristiques pour permettre de se faire une idée de l'espèce dont ils proviennent; mais je serais assez porté à admettre qu'ils peuvent bien correspondre au *Sigillaria tessellata*, qui est l'une des espèces les plus communes des

couches où on les rencontre, de même qu'ils constituent le type de cône le plus fréquent dans ces couches; en outre, cette espèce est celle qui devait fructifier le plus abondamment, chaque tronc muni de cicatrices d'épis fructifères en portant toujours un très grand nombre, et les troncs munis de cicatrices de ce genre étant eux-mêmes très communs; la position relative des cônes que j'ai observés à Nœux s'accorderait en outre avec cette hypothèse, mais il est impossible de rien affirmer.

Sigillariostrobus strictus (pl. 12, fig. 4, 4 *a*). — Je signalerai encore un cône provenant des mines de Decize, c'est-à-dire du terrain houiller supérieur, qui présente également les caractères d'un *Sigillariostrobus*. Le pédoncule manque complétement, mais les bractées, très effilées, présentent la forme de celles des espèces précédentes, contractées en une sorte d'onglet à la base, comme on peut le voir sur l'une d'elles, vers le haut de l'échantillon. Leur largeur ne dépasse pas $0^m,003$, mais leur longueur atteint $0^m,020$ à $0^m,025$; elles sont uninerviées, légèrement canaliculées sur le dos, et paraissent avoir été insérées très obliquement; tout au moins la partie limbaire est-elle complétement dressée. On ne voit aucune trace de l'axe, et, les bractées étant rompues très inégalement, on ne peut juger si elles étaient ou non verticillées. Vers la partie inférieure de l'échantillon on aperçoit, à la base des bractées, des groupes de spores, de $0^m,0010$ ou $0^m,0012$ de diamètre, de couleur brune, à surface lisse. L'examen microscopique, après attaque légère par les réactifs oxydants, m'a montré encore qu'elles étaient bien unicellulaires et qu'elles étaient réellement tout à fait lisses; les trois stries caractéristiques y sont aussi parfaitement visibles.

Ce cône, qui diffère de tous les précédents par la forme beaucoup plus étroite de ses bractées, par la dimension moindre de ses spores, et de plusieurs d'entre eux par l'absence d'ornements sur la surface de celles-ci, ne présente aucun caractère qui puisse faire soupçonner de quelle espèce il pro-

vient. Il serait possible qu'il eût appartenu au *Sigillaria Brardi*, car j'ai observé dans les mêmes couches des fragments de tiges de cette espèce portant des cicatrices d'épis de fructification (1); et c'est la seule espèce de Sigillaire qui ait été, jusqu'à présent du moins, rencontrée dans les couches houillères de Decize.

Dans tous les cônes que je viens de passer en revue, je n'ai jamais trouvé qu'une seule sorte de spores, et les différences de dimensions indiquées par les figures de Goldenberg me paraissent beaucoup trop faibles pour qu'on puisse accepter l'interprétation de Schimper, qui a regardé les plus grosses, mesurant $1^{mm},5$ ou 2 millimètres de diamètre, comme des macrospores, et a considéré comme microspores celles dont le diamètre n'est que de 1 millimètre environ (2). Ces différences, si elles existent réellement (car Goldenberg n'en fait pas mention, et il est difficile de se fier, pour des mesures aussi délicates, à des figures même bien faites), peuvent correspondre, comme on a pu le voir par ce que j'ai indiqué, à des différences spécifiques, ou même résulter simplement de variations individuelles. Je ne crois donc pas pouvoir admettre que l'on connaisse encore les microspores et les macrospores des cônes de Sigillaires, mais il n'en résulte pas qu'il faille considérer ce genre de plantes comme devant rentrer dans le groupe des Lycopodinées isosporées : si les microspores des Sigillaires avaient des dimensions semblables à celles qu'on rencontre aujourd'hui chez les *Selaginella* et les *Isoetes*, il serait à peu près impossible, une fois échappées du sporange qui les contenait, de les découvrir sur des empreintes, si bien conservées que pussent être celles-ci, et l'on ne peut déduire de leur absence aucune conclusion positive. Peut-être certains cônes n'ont-ils porté que des microspores, et est-ce à une circonstance de ce genre qu'il faut attribuer l'absence complète de spores visibles entre les bractées du *Sigillariostrobus nobilis*. En tout cas il

(1) *Explic. de la Carte géol. de la France*, t. IV; Atlas, pl. CLXXIV, fig. 1.
(2) *Traité de paléont. végét.*, t. II, p. 105.

est impossible actuellement de se prononcer définitivement à ce sujet, mais toutes les vraisemblances tendent à faire considérer comme des macrospores les spores de Sigillaires observées jusqu'à présent, et dont les dimensions varient, comme je l'ai indiqué, de 1 millimètre à 2^{mm},25.

Aucun des *Sigillariostrobus* connus, en y comprenant le *Sig. rugosus* de M. Grand'Eury, n'a été trouvé attaché à une tige, contrairement à ce qui a lieu pour les *Lepidostrobus*, dont plusieurs ont été rencontrés portés à l'extrémité de rameaux feuillés de *Lepidodendron* encore dépendants de tiges plus grosses et spécifiquement déterminables. Mais il n'y a, je crois, aucune incertitude à avoir sur la place que ces cônes devaient occuper : divers auteurs ont en effet signalé depuis longtemps la présence assez fréquente, sur les tiges de *Sigillaria*, de cicatrices de formes particulières placées, soit dans les sillons qui séparent les côtes, soit sur les côtes elles-mêmes entre les cicatrices foliaires, et ils les ont regardées comme produites par la chute d'organes de fructification caducs. M. Grand'Eury a pensé cependant (1) et j'avais admis d'après lui (2) que les cicatrices placées *entre les files* de cicatrices foliaires ne pouvaient être dues qu'à des racines adventives, et que seules celles qui se trouvent *sur les côtes*, entre les cicatrices foliaires elles-mêmes, pourraient être considérées comme des cicatrices « ramulaires et fructifères ». Mais j'ai vu depuis lors ces cicatrices se montrer, sur le même échantillon, tantôt dans le fond des sillons qui séparent les côtes, tantôt sur les côtes elles-mêmes et comme à l'aisselle des feuilles, et j'ai reconnu l'impossibilité de maintenir une telle distinction. La déformation subie par le contour des cicatrices foliaires prouve d'ailleurs que les organes qui s'attachaient à ces cicatrices spéciales naissaient en même temps que les feuilles elles-mêmes, et il me paraît certain aujourd'hui que ces organes ne pouvaient être que des épis ou cônes de fructifica-

(1) *Flore carbonifère*, p. 163, 176.

(2) *Explication de la Carte géol. de la France*, t. IV, 2e partie, p. 123. Atlas, pl. CLXXIII, fig. 1, 2.

tion; les dimensions des pédoncules que j'ai observés concordent d'ailleurs parfaitement avec celles de ces cicatrices, et la position des trois cônes que j'ai recueillis à Nœux s'accorde aussi, comme je l'ai dit, avec cette manière de voir.

La forme et la disposition de ces cicatrices, qui sont connues maintenant dans un très grand nombre d'espèces, sont assez variables d'une espèce à l'autre, mais fixes naturellement dans chacune. Dans le *Sigillaria tessellata*, elles présentent un contour arrondi ou quadrangulaire, et forment, à une même hauteur sur le tronc, de nombreuses et longues files verticales parallèles, placées au fond des sillons séparatifs des côtes (1). Dans le *Sig. elegans*, elles sont plus grandes, affectent un contour tantôt quadrangulaire, tantôt polygonal, et se montrent soit sur les côtes elles-mêmes, soit dans les sillons, formant des verticilles plus ou moins réguliers, plus ou moins espacés, mais non de longues séries verticales comme dans le *Sig. tessellata:* c'est, je crois, à cette espèce qu'appartient l'échantillon figuré en double grandeur par M. Williamson (2). M. D. Stur a observé aussi des cicatrices semblables et semblablement disposées chez son *Sig. Eugenii* (3), qui est, du reste, à peine distinct du *Sig. elegans*. Dans le *Sig. mamillaris*, ainsi que j'ai pu m'en assurer sur divers échantillons recueillis dans le Pas-de-Calais, la disposition est à peu près la même, sauf que les cicatrices sont plus puissantes et habituellement plus nombreuses ; c'est ce qu'on observe aussi sur l'échantillon de *Sig. Knorrii*, figuré par Brongniart (4), mais dont la figure ne donne malheureusement qu'une idée très imparfaite.

Dans d'autres espèces, les cicatrices sont plutôt fusiformes, assez allongées dans le sens vertical : ainsi dans le *Sig. scutel-*

(1) Schimper, *Traité de paléont. végét.*, Atlas, pl. LXVII, fig. 2 (*Sigillaria lalayana*). — Zeiller, *Explic. de la Carte géol. de la France*; t. IV. Atlas, pl. CLXXIII, fig. 2.

(2) *Philosoph. Transact.*, t. CLXII, pl. XXI, fig. 58.

(3) *Culm-Flora*, p. 405, pl. XLII, fig. 2.

(4) *Hist. des végét. fossiles*, pl. CLXII, fig. 6.

lata, où elles se montrent tantôt isolées (1), tantôt réunies en grand nombre à une même hauteur. J'ai observé la même forme chez le *Sig. Cortei* et chez le *Sig. Davreuxi* (2), les cicatrices étant, chez ces deux espèces, du moins sur les échantillons que j'ai vus, isolées, mais placées à peu près à la même hauteur entre les côtes.

Toutes les espèces que je viens de citer appartiennent à la section des *Rhytidolepis;* mais des cicatrices de même nature ont été observées dans les deux autres sections, *Clathraria* et *Leiodermaria*, caractère qui confirme une fois de plus l'étroite affinité des différentes espèces de ce grand genre. M. B. Renault a figuré en effet des échantillons de *Sig. Brardi* et de *Sig. spinulosa* portant des cicatrices raméales arrondies, disposées en verticille (3). Germar avait d'ailleurs depuis longtemps figuré une tige de *Sig. Brardi* munie de cicatrices de ce genre (4), et j'avais moi-même constaté des cicatrices semblables, mais de forme plutôt hexagonale, chez le *Sig. Brardi* (5).

Il me reste maintenant à examiner, d'après les caractères des organes de fructification que je viens de décrire, quelle place il est possible d'attribuer au genre *Sigillaria* dans le groupe des Lycopodinées, auquel il me paraît maintenant devoir être définitivement rapporté.

Il est juste tout d'abord de reconnaître que les Sigillaires se rapprochent sous beaucoup de rapports des *Lepidodendron:* elles offrent, comme eux, sur leurs cicatrices foliaires, deux cicatricules latérales placées à droite et à gauche de la cicatricule vasculaire, mais, contrairement à ce qui a lieu dans les

(1) *Sig. elliptica* Zeiller (non Brongniart), *Explic. de la Carte géol. de la France*, t. IV; Atlas, pl. CLXXIII, fig. 1.

(2) Brongniart, *Hist. des végét. fossiles*, pl. CXLVIII. Les espèces de cassures figurées vers le haut de l'échantillon sont, en réalité, des cicatrices raméales très nettes.

(3) *Cours de bot. fossile*, 2e année, pl. XVII, fig. 1, 2.

(4) *Die Versteinerungen des Steinkohlengebirges von Wettin und Lobejün*, pl. XI, fig. 1.

(5) *Explic. de la Carte géol. de la France*, t. IV; Atlas, pl. CLXXIV, fig. 1.

Lepidodendron, plus développées que celle-ci et non pas plus petites, toujours allongées ou arquées et non punctiformes; comme eux, elles présentent au-dessus de la cicatrice foliaire une petite marque punctiforme, correspondant peut-être, comme l'a supposé M. D. Stur (1), à une sorte de stipule analogue à celle que Karl Müller a signalée chez les *Selaginella* (2), bien que cependant celle-ci semble être plutôt une dépendance de la feuille et ne paraisse pas susceptible de laisser de trace sur la tige. Enfin, au point de vue de la structure anatomique, les *Sigillaria* et les *Lepidodendron* auraient eu ce caractère commun de posséder un double bois, le bois primaire centripète et le bois secondaire centrifuge; car maintenant que la présence de celui-ci est bien démontrée chez certaines Cryptogames vasculaires, je ne vois plus de raison pour révoquer en doute l'attribution aux *Lepidodendron* des échantillons de *Sigillaria vascularis* étudiés par M. Binney et des *Diploxylon* de M. Williamson; seulement, dans les véritables Sigillaires, le bois secondaire centrifuge, se développant sans doute de très bonne heure, prenait part, avec le bois primaire centripète, à la constitution des cordons foliaires (3), tandis que dans les *Lepidodendron* il ne commençait à paraître que beaucoup plus tard et ne fournissait aucun élément aux cordons foliaires, qui restaient alors simples, uniquement formés de bois primaire et dépourvus de partie exogène (4).

D'autre part il est à remarquer que les cônes dont je viens de parler diffèrent à beaucoup d'égards, tant comme aspect extérieur que comme constitution, des *Lepidostrobus*, dans lesquels notamment le sporange est presque toujours très visible et paraît avoir eu une enveloppe assez épaisse. Dans les *Sigillariostrobus*, les spores semblent avoir été groupées à la base

(1) *Culm-Flora*, p. 334.

(2) *Botanische Zeitung*, 1846, p. 543.

(3) B. Renault, *Nouvelles Archives du Muséum*, 2ᵉ sér., t. II, p. 264, 279. — *Cours de bot. foss.*, 3ᵉ année, p. 11.

(4) Williamson et Hartog, *Ann. des sc. nat.*, 6ᵉ sér., Bot., t. XIII, p. 346. — B. Renault, *Cours de bot. foss.*, 3ᵉ année, p. 11.

des bractées, dans le pli que présente leur portion basilaire en forme de coin, et protégées seulement par une membrane, probablement très mince, qui se détachait peut-être de la base de la portion limbaire de la bractée, ainsi que je l'ai fait remarquer pour le *Sig. Tieghemi*. Cette membrane a dû se détruire facilement, car on n'en trouve aucun vestige sur les empreintes que j'ai examinées, et Goldenberg avait déjà signalé la très rare conservation du sporange (1); le seul échantillon qu'il figure comme un sporange conservé (2) paraît même représenter tout simplement la base d'une bractée, sans aucune trace d'enveloppe protectrice des spores. On est donc autorisé à penser que les spores devaient être mises en liberté par la désorganisation de la membrane qui les recouvrait et non par une déhiscence régulière du sporange. Il y aurait là, comme l'avait indiqué Goldenberg, une sérieuse analogie avec les *Isoetes*, qui offrent du reste, seules parmi les Lycopodinées actuelles, ce caractère intéressant de posséder dans leur gte une assise génératrice produisant des tissus secondaires.

J'ajouterai que le mode d'attache des cônes de Sigillaires, la différenciation bien nette et la caducité régulière des pédoncules au bout desquels ils étaient portés, sont encore des caractères qui distinguent les *Sigillaria* des *Lepidodendron*.

En résumé, les Sigillaires me paraissent devoir être considérées comme constituant, dans les Lycopodinées, un groupe intermédiaire en quelque sorte entre les Lépidodendrées proprement dites et les Isoétées, en raison des affinités qu'elles présentent, d'une part avec les *Isoetes* au point de vue de la disposition des sporanges et probablement du mode de dissémination des spores, d'autre part avec les *Lepidodendron* au point de vue de la constitution des cicatrices foliaires et de la structure anatomique de la tige.

(1) *Flora Saræpontana fossilis*, Ies Heft, p. 35, pl. B, fig. 23.
(2) *Ibid.*, p. 35, pl. B, fig. 22.

EXPLICATION DES PLANCHES.

PLANCHE 11.

Fig. 1. *Sigillariostrobus Tieghemi* Zeiller. — Terrain houiller moyen. Mines de l'Escarpelle (Nord), fosse n° 4, veine n° 3. — Grandeur naturelle.

Fig. 1 *a*. Fragment du pédoncule du même, grossi 4 fois, montrant la forme et le mode d'ornementation des coussinets foliaires et la base d'attache des feuilles.

Fig. 2. *Sigillaria polyploca* Boulay. — Mines de l'Escarpelle, fosse n° 4, veine n° 3. — Grandeur naturelle.

Fig. 3. *Sigillaria scutellata* Brongniart. — Mines d'Anzin (Nord), fosse Thiers, veine Filonnière. — Grandeur naturelle.

Fig. 4. *Sigillariostrobus Tieghemi* Zeiller. — Mines de l'Escarpelle, fosse n° 4, veine n° 3. — Grandeur naturelle.

Fig. 4 *a*. Fragment du même, grossi 2 fois, montrant la disposition des bractées et des spores placées à leur base.

Fig. 4 *b*. Spores du même, grossies 4 fois.

Fig. 5. *Sigillariostrobus Souichi* Zeiller. — Mines d'Anzin, fosse Renard, veine Président. — Grandeur naturelle.

Fig. 5 *a*. Bractée du même, grossie une fois et demie, montrant les spores placées à sa base.

Fig. 5 *b*. Spore du même, grossie 4 fois.

PLANCHE 12.

Fig. 1. *Sigillariostrobus nobilis* Zeiller. — Bractée isolée. Mines d'Anzin, fosse Thiers, veine Printanière. — Grandeur naturelle.

Fig. 2. *Sigillariostrobus nobilis* Zeiller. — Même provenance. — Grandeur naturelle.

Fig. 2 *a*. Fragment du pédoncule du même, grossi 2 fois, montrant le mode d'ornementation des coussinets foliaires.

Fig. 3. *Sigillariostrobus Goldenbergi* O. Feistmantel. — Terrain houiller moyen. Mines du Grand-Buisson, près Mons. — Grandeur naturelle.

Fig. 4. *Sigillariostrobus strictus* Zeiller. — Terrain houiller supérieur. Mines de Decize (Nièvre). — Grandeur naturelle.

Fig. 4 *a*. Spore du même, grossie 4 fois.

Fig. 5. *Sigillariostrobus Goldenbergi* O. Feistmantel. — Mines du Grand-Buisson, près Mons. — Grandeur naturelle.

Fig. 6. *Sigillariostrobus Goldenbergi* O. Feistmantel. — Mines de Marles (Pas-de-Calais), veine Sainte-Barbe. — Grandeur naturelle.

Fig. 6 *a*. Spore du même, grossie 4 fois.

Fig. 7. *Sigillaria elongata* Brongniart. — Mines d'Anzin, fosse Thiers, veine Printanière. — Grandeur naturelle.

ANATOMIE DES STYLIDIÉES

Par MM. Ph. VAN TIEGHEM et L. MOROT (1).

M. Vesque a signalé en 1878 (2), dans la tige du *Stylidium adnatum* et des autres espèces du même genre où la tige allonge ses entrenœuds (*St. fruticosum*, *dichotomum*, *lancifolium*, *bulbiferum*, etc.), une anomalie de structure qui, si elle avait bien les caractères que lui attribue l'auteur, serait unique dans le règne végétal.

L'assise périphérique du cylindre central située sous l'endoderme, c'est-à-dire l'assise externe du péricycle, se divise par des cloisons tangentielles vers l'extérieur seulement, et produit un méristème unilatéral qui, suivant M. Vesque, se différencie de dedans en dehors en une couche de bois secondaire composé de fibres et de vaisseaux, *sans donner de liber secondaire*. Bientôt l'activité de cette couche génératrice s'éteint, ses derniers éléments externes se différencient à leur tour en éléments ligneux, de sorte qu'à ce moment le bois secondaire confine immédiatement à l'endoderme. « Celui-ci, comme on sait, dit en terminant M. Vesque, se subérifie, l'écorce tombe, et alors nous sommes en présence d'une tige privée d'écorce et dont la surface est formée par du bois (3) ! »

L'étrangeté de ce résultat nous a engagés à en vérifier l'exactitude, et, comme nous sommes arrivés à des conclusions différentes de celles de M. Vesque, nous avons cru devoir les publier.

La tige du *Stylidium adnatum* possède une écorce épaisse, à cellules arrondies, que limite intérieurement un endoderme.

(1) Les résultats de ce travail ont été communiqués à la Société botanique de France dans les séances du 14 décembre 1883 et du 28 mars 1884.

(2) J. Vesque, *Note sur l'anatomie des* Stylidium (*Ann. des sc. nat.*, 6e série, t. VII, 1878).

(3) *Loc. cit.*, p. 208.

Celui-ci est parfaitement caractérisé dans le jeune âge par les plissements des parois radiales de ses cellules, dont la membrane subit d'ailleurs une subérification précoce, grâce à laquelle on les distingue toujours avec la plus grande facilité.

Le cylindre central commence par un péricycle parenchymateux homogène, formé de trois à cinq assises de cellules polygonales sans méats. En dedans de ce péricycle, se trouve un cercle de faisceaux libéro-ligneux primaires assez nombreux, irrégulièrement disposés et peu développés. Chacun de ces faisceaux comprend d'ordinaire deux ou trois vaisseaux spiralés, rarement davantage, séparés de la portion libérienne, beaucoup moins réduite, par quelques cellules génératrices qui ne se divisent qu'un petit nombre de fois (pl. 13, fig. 1). Il en résulte que les faisceaux primaires s'épaississent très peu; en outre ils demeurent indépendants les uns des autres, aucun tissu secondaire ne se formant entre eux.

Plus tard le tissu conjonctif qui constitue les rayons médullaires, ainsi que les assises internes du péricycle, se sclérifient. Quant à l'assise sous-jacente à l'endoderme, bien avant le début de cette sclérification, elle se cloisonne tangentiellement; la cellule externe résultant de cette première partition se divise à son tour de la même manière, et ainsi de suite, de façon à produire un méristème unilatéral et centrifuge (fig. 1 et 2, *mer*), comme l'a fort bien vu M. Vesque. C'est dans le mode de différenciation de ce méristème que la divergence se manifeste entre les observations de ce botaniste et les nôtres.

Le méristème se différencie par places en petits groupes ligneux, souvent réduits à un seul vaisseau, accompagnés chacun en dehors d'un petit paquet de tubes criblés, c'est-à-dire en petits faisceaux libéro-ligneux (fig. 2, *f'*). Le reste du méristème se différencie en fibres qui enveloppent ces faisceaux dans une sorte de gangue générale scléreuse (fig. 3).

Les faisceaux primaires sont donc, en définitive, entourés d'une couche secondaire de nature fort hétérogène, comme on voit. L'erreur de M. Vesque provient de ce que les petits groupes de liber secondaire lui ont échappé; ils sont, il est

vrai, souvent assez difficiles à distinguer au premier abord, chacun d'eux étant réduit à un très petit nombre d'éléments entaillés dans une seule cellule de méristème et dont l'ensemble, sur une coupe transversale, offre une section qui ne dépasse pas celle d'un vaisseau ou d'une fibre (fig. 3, *l*). D'autre part, M. Vesque a pris pour du sclérenchyme ligneux le tissu conjonctif sclérifié qui est intercalé aux faisceaux.

En résumé, le *Stylidium adnatum* présente la même anomalie que les *Dracœna*, les *Yucca*, etc., chez les Monocotylédones, que les Chénopodiacées, les Nyctaginées, etc., chez les Dicotylédones. C'est un exemple intéressant de cette anomalie dans les Gamopétales, où elle n'avait pas été signalée jusqu'ici; ce n'est pas une anomalie nouvelle et unique dans les plantes vasculaires.

Cette anomalie n'existe pas seulement dans la tige des *Stylidium;* elle se retrouve dans la racine des mêmes plantes, non seulement chez les espèces à feuilles espacées, mais aussi chez celles qui n'ont qu'une tige courte et ramassée portant une rosette de feuilles.

Nous prendrons comme exemple la racine du *Stylidium graminifolium*, qui appartient à cette dernière catégorie (fig. 5). Cette racine, à l'état primaire, présente généralement cinq faisceaux ligneux réduits chacun à un ou deux vaisseaux, et, alternant avec eux, cinq faisceaux libériens composés chacun de un à trois tubes criblés. Le péricycle, simple en dehors du liber, comprend deux ou trois assises en dehors du bois.

Il se produit tout d'abord dans cette racine une zone génératrice normale intralibérienne et extraligneuse. Mais, pendant que cette assise continue quelque temps à donner du bois et du liber secondaires, le péricycle se cloisonne tangentiellement sur tout son pourtour et forme un méristème centrifuge qui se comporte comme celui de la tige. Bientôt, par conséquent, les faisceaux primaires, avec les productions secondaires issues de la zone génératrice normale, sont entourés d'un anneau scléreux dans lequel se trouvent épars de petits faisceaux libéro-ligneux, peu nombreux d'ailleurs.

Lorsque l'activité du méristème s'éteint, ce qui arrive assez promptement, les derniers éléments différenciés continuent à épaissir leurs parois beaucoup plus que les éléments de la région interne et semblent former une couche particulière à la périphérie du cylindre central (fig. 5).

La structure primaire de la racine du *Stylidium adnatum* est la même que celle du *S. graminifolium*, avec cette différence peu importante que les faisceaux ligneux et libériens y sont moins réduits (fig. 4). Quant à la genèse des formations ultérieures, elle est identique à celle que nous venons de décrire.

Les racines âgées de *Stylidium spinulosum* et de *S. dichotomum*, que nous n'avons pu examiner que sur des échantillons secs, nous ont montré une structure absolument semblable à celle que nous avons signalée dans les vieilles racines de *S. graminifolium*.

En résumé, si la tige des *Stylidium* tantôt offre et tantôt n'offre pas l'anomalie en question, suivant que l'espèce considérée allonge ou n'allonge pas ses entrenœuds, la racine la possède toujours. La faculté de produire des faisceaux libéro-ligneux tertiaires dans un méristème secondaire issu du cloisonnement du péricycle est donc un caractère commun à tous les *Stylidium*. C'est un exemple de plus à l'appui de cette vérité, trop longtemps méconnue, que l'étude anatomique de la racine est aussi indispensable que celle de la tige et de la feuille, si l'on veut donner une base solide à l'anatomie comparée des plantes.

Les autres genres de la famille des Stylidiées développent-ils aussi des faisceaux libéro-ligneux péricycliques?

Pour résoudre cette question, nous n'avons eu à notre disposition que des échantillons secs de la tige des *Coleostyles Preisii*, *Forstera Bidwilli*, *F. sedoides* et *Phyllachne muscifolia*.

La tige du *Coleostyles Preisii* (fig. 6) possède de nombreux faisceaux libéro-ligneux peu développés, irrégulièrement disposés, à éléments souvent dissociés. Entre ces faisceaux et l'endoderme très net qui limite l'écorce, laquelle est réduite d'or-

dinaire à une seule assise de cellules entre l'épiderme et l'endoderme, l'échantillon que nous avons eu à notre disposition nous a montré un anneau scléreux assez épais, dans lequel nous n'avons pu distinguer de faisceaux libéro-ligneux. Cet anneau est-il primaire, ou provient-il d'un cloisonnement du péricycle? C'est ce que nous ne saurions décider, le *Coleostyles* étant une herbe annuelle et nos observations ayant été faites sur un échantillon où le développement était complètement terminé.

La tige du *Forstera Bidwilli* présente au contraire une écorce épaisse et un cylindre central relativement étroit. Les faisceaux primaires y affectent la même disposition que ceux du *Coleostyles* et du *Stylidium*. Mais ici le péricycle est homogène et réduit à une seule assise; il ne forme pas de méristème secondaire et reste entièrement parenchymateux.

Le *Forstera sedoides* présente les mêmes caractères, avec cette particularité que la moelle est formée d'éléments à parois épaisses et molles, d'apparence collenchymateuse.

La tige du *Phyllachne muscifolia*, dont nous avons étudié des exemplaires rapportés du cap Horn par M. Harriot, nous a montré la même structure essentielle, avec une réduction extrême de la moelle.

La racine de la même plante possède deux ou trois faisceaux vasculaires confluents au centre. Elle est douée d'un épaississement normal. Mais, en outre, nous avons observé, dans les échantillons les plus âgés dont nous avons pu disposer, un cloisonnement tangentiel de quelques cellules du péricycle en dehors du liber, c'est-à-dire le début de la formation d'un méristème semblable à celui qui, chez les *Stylidium*, se produit dans la tige et dans la racine.

EXPLICATION DES FIGURES.

PLANCHE 13.

Fig. 1. Coupe transversale d'une jeune tige de *Stylidium adnatum*.
end, endoderme; — *pr*, péricycle parenchymateux à plusieurs assises; — *mer*, début du cloisonnement de l'assise externe du péricycle.

Fig. 2. Coupe transversale d'une tige de *St. adnatum* plus âgée que la précédente.
end, endoderme; — *mer*, méristème issu du cloisonnement de l'assise externe du péricycle; — *f*, faisceau libéro-ligneux primaire; — *f'*, faisceau libéro-ligneux différencié dans le méristème secondaire péricyclique.

Fig. 3. Coupe transversale de la même tige dans une région plus âgée.
f, faisceau libéroligneux primaire; — *l*, groupes libériens des faisceaux péricyliques; — *mer*, méristème non encore différencié.

Fig. 4. Coupe transversale d'une racine de *St. adnatum*.
mér, méristème issu du cloisonnement du péricycle; — *lib*, faisceau libérien. — Le tissu conjonctif interne et les éléments provenant des assises génératrices intralibérienne et extraligneuse sont fortement sclérifiés.

Fig. 5. Coupe transversale d'une racine de *St. graminifolium*.
scl, anneau scléreux issu du cloisonnement du péricycle.

Fig. 6. Coupe transversale de la tige du *Coleostyles Preisii*.
end, endoderme; — *pr*, péricycle sclérifié.

RECHERCHES

SUR LA

STRUCTURE DE LA TIGE DES PLANTES AQUATIQUES

Par J. COSTANTIN

INTRODUCTION.

Les végétaux se transforment extérieurement quand les conditions d'existence changent. Les prive-t-on de lumière, ils s'étiolent ; les change-t-on de latitude (1) ou d'altitude (2), se développent-ils dans les eaux douces (3) ou dans les prés salés du littoral (4), tout leur appareil végétatif varie, leur fructification se modifie.

Ces modifications externes en font supposer d'autres dans la structure interne : celles-ci seulement ont fait l'objet de mes études.

Je me suis proposé de rechercher comment l'organisation intime se transforme sous l'influence des trois milieux, aérien, aquatique et souterrain. Les organes végétatifs peuvent seuls se développer dans ces trois éléments ; la tige, la racine et la feuille s'accroissent normalement à l'air, dans l'eau ou sous terre.

La tige est exposée aux plus grandes variations dans ses con-

(1) Le Cerisier, transporté à Ceylan, y est devenu un arbre toujours vert. (De Candolle, *Géographie botanique*, t. II.) — Les plantes potagères d'Europe ne fructifient pas au Sénégal. (Sagot, *Végétation des plantes potagères d'Europe sous l'Équateur*, in *Bull. Soc. bot. de France*, 1862.)

(2) Faivre, *La variabilité des espèces et ses limites* (*Revue scientifique*, 1867, p. 24).

(3) Le *Montia fontana* présente deux variétés, l'une terrestre, l'autre aquatique, qui diffèrent par leurs feuilles, leurs tiges, leurs graines et leur durée. (Royer, *Flore de la Côte-d'Or*.)

(4) L'*Artemisia campestris* a une forme *maritima* dont les feuilles sont très épaisses. L'*Hieracium eriophorum* cultivé au jardin botanique de Bordeaux a perdu les poils qu'il possède dans les sables maritimes. (Grenier et Godron, *Flore de France*.)

ditions d'existence; normalement, cette partie de la plante peut croître en trois milieux différents. Elle est, en effet, aérienne ou souterraine chez les végétaux terrestres; elle se développe, en outre, dans l'eau chez les plantes aquatiques. Les espèces dont la tige traverse ces trois éléments sont très nombreuses dans nos pays tempérés; elles fournissent de nombreux renseignements ; c'est ce qui m'a déterminé à choisir la tige comme premier objet de mes recherches. En m'occupant d'abord des plantes terrestres, je n'ai eu qu'à rechercher l'influence de deux milieux ; j'ai pu ensuite aborder plus facilement l'examen des végétaux aquatiques, dont la tige peut être à la fois aérienne, aquatique et souterraine.

La racine étant un organe analogue à la tige par sa structure et par sa symétrie, il peut sembler présumable que les changements de milieu la feront varier comme la tige: c'est ce que j'ai cherché à vérifier.

De son côté, la feuille subit sous l'action du milieu de nombreuses modifications de structure dont j'ai essayé de fixer les principales.

L'étude de l'influence des trois milieux, aérien, aquatique et souterrain, sur le corps végétatif de la plante comprend donc trois parties, suivant qu'il s'agit : 1° de la tige; 2° de la racine; 3° de la feuille.

La première partie se divise à son tour en deux sections, suivant que l'on considère la tige des plantes terrestres ou celle des plantes aquatiques. L'étude des modifications de structure de la tige des plantes terrestres a fait l'objet d'un premier mémoire, inséré dans ce recueil (1). La tige des plantes aquatiques est le sujet du mémoire actuel. Mes recherches sur la racine et sur la feuille seront publiées prochainement.

(1) Costantin, *Étude comparée des tiges aériennes et souterraines des Dicotylédones* (*Ann. sc. nat.*, 6e série, 1883, t. XVI, p. 5).

TIGES DES PLANTES AQUATIQUES.

HISTORIQUE.

Les botanistes qui ont abordé l'étude de l'influence du milieu aquatique sur la structure des tiges sont peu nombreux et ont le plus souvent traité le problème indirectement. Il y a en effet deux méthodes permettant de déterminer cette action de l'eau : l'*anatomie comparée* et l'*expérience*. La première est la plus simple, mais non la plus sûre ; elle doit, pour être probante, s'appuyer sur la seconde. Par contre, l'expérience, forcément restreinte dans le temps, ne peut être qu'un fil conducteur à travers l'anatomie pure. Les deux méthodes doivent donc se prêter un mutuel secours ; or jusqu'ici les expériences ayant trait au sujet actuel ont fait presque complètement défaut, l'anatomie seule a guidé les observateurs.

I. *Études anatomiques*. — L'étude anatomique des végétaux aquatiques peut être faite de deux manières : on peut entreprendre l'anatomie comparée, soit des différents types d'une même famille, soit de toutes les espèces aquatiques d'une classe ou d'un embranchement ; ou bien on peut se restreindre à la comparaison, dans une même espèce, entre les régions aériennes et les régions aquatiques. Cette dernière étude rentre seule véritablement dans la question qu'il s'agit d'examiner ici, mais la première peut fournir un grand nombre de renseignements très instructifs.

Il est intéressant en effet de voir, *dans une même famille* élevée par l'organisation florale, la structure, qui garde une uniforme complexité chez les espèces terrestres, se dégrader tout à coup chez une espèce aquatique, qui rappelle anatomiquement des familles bien moins élevées dans l'échelle végétale. Tel est, chez les Droséracées, l'*Aldrovandia vesiculosa* qui, comme M. Caspary (1) l'a mis en évidence, se rapproche

(1) Caspary, *Bot. Zeit.*, 1859, p. 126 ; 1862, p. 193.

beaucoup par sa structure de Monocotylédones aquatiques, comme les Hydrillées (1), tandis que sa fleur le place au milieu des Dicotylédones thalamiflores. L'examen de ces types isolés dans une famille est un des grands attraits de l'anatomie comparée, car ce sont de telles études qui permettent de supposer que le milieu a une grande influence sur la structure des végétaux.

La comparaison anatomique des *espèces aquatiques appartenant à des familles diverses* conduit à une conclusion semblable. Si l'on parcourt les nombreux mémoires (2) dans lesquels l'organisation interne de ces diverses plantes est décrite, on remarque que quelques caractères se retrouvent partout avec une constance remarquable. C'est d'abord la présence de lacunes nombreuses dans l'écorce et la moelle, c'est ensuite le faible développement du système ligneux. La persistance de ces deux caractères (qu'on ne retrouve pas dans les plantes terrestres) chez tant d'espèces appartenant à des familles éloignées, constitue un second argument important à l'appui de l'opinion qui attribue de telles modifications générales à une cause unique, l'action de l'eau.

L'examen comparatif des différences qui existent, *dans une même espèce*, entre la tige souterraine et la tige aquatique, ou bien entre cette dernière et la tige aérienne, vient donner une nouvelle valeur à la théorie précédente. Les travaux dans lesquels est traitée cette question, qui a un rapport immédiat avec le sujet de ce mémoire, sont malheureusement peu nombreux. M. Prillieux (3) s'en est occupé incidemment dans son étude sur l'*Althenia filiformis*. Cet auteur compare la struc-

(1) *Die Hydrillen* (*Jahrb. für wissensch. Bot.*, t. II, p. 387).

(2) Chatin, *Anatomie comparée: Plantes aquatiques*. Paris, 1859. — Caspary, *Schriften d. physical-œconom. Gesellsch. zu Kœnigsberg*, t. I, 1860. — Sanio, *Bot. Zeit.*, 1865, p. 191. — Hegelmaier, *Monogr. d. Gattung* CALLITRICHE. — Wöchting, *Zur Histologie und Entwickelungsgeschichte v. Myriophyllum* (*Acta Acad. Leopoldin.*, XXXVI, 1873). — Rohrbach, *Beitr. zur Kenntniss einiger Hydrocharideen* (*Abhandl. d. Naturf. Ges. zu Halle*, t. XII, p. 75). — Bornet, *Recherches sur le* Phucagrostis major; *Ann. sc. nat.*, 5ᵉ série, t. I). — De Bary, *Vergleichende Anatomie*, p. 288, 354, 381. Etc.

(3) *Recherches sur la végétation et la structure de l'*Althenia filiformis (*Ann. sc. nat.*, BOT., 5ᵉ série, t. II).

ture du rhizome de cette espèce à celle de la tige aquatique, et il signale entre ces deux régions une différence importante. En effet, dans le rhizome, le parenchyme cortical est très développé et les lacunes sont peu nombreuses ; dans l'écorce de la tige aquatique, les espaces lacuneux se sont multipliés et le volume de chacun d'eux est plus considérable.

La remarque précédente a été faite d'une manière très indirecte ; aussi peut-on dire que le premier mémoire, et presque l'unique, dans lequel l'étude de l'action du milieu sur les tiges aquatiques ait été abordée véritablement, est celui de M. Van Tieghem (1) sur l'Utriculaire commune. En étudiant cette Gamopétale, M. Van Tieghem a retrouvé dans la partie aquatique la dégradation ordinaire de cette région. En effet, le cylindre central ne possède qu'un vaisseau à parois non perforées, entouré de cellules conductrices. Au moment où la tige va fleurir, les ampoules de cette plante se gonflent d'air, et elle vient flotter à la surface de l'eau. La tige florifère se trouve soustraite à l'influence du milieu aquatique ; aussi possède-t-elle la structure des tiges aériennes de Dicotylédones qui ne vivent qu'une année. En effet, autour d'une large moelle, on trouve un étui de fibres entouré lui-même d'un anneau de vaisseaux spiralés sans trachées déroulables. Il y a donc un saut brusque d'une organisation à une autre ; on a deux êtres différents insérés l'un sur l'autre : « l'être aquatique, végétant horizontalement sans racines, pouvant tour à tour s'élever à la surface de l'eau ou en gagner les profondeurs, et l'être aérien, dressé vers le ciel, produisant des fleurs à son sommet et implanté sur le premier, qui lui sert de sol (2) ». La méthode d'investigation, qui est exposée dans ce court et intéressant travail, est aussi importante que les résultats trouvés ; c'est celle que j'ai suivie dans le second chapitre de ce mémoire.

II. *Recherches expérimentales.* — Les différences considé-

(1) *Anatomie de l'Utriculaire commune* (*Ann. sc. nat.*, 5ᵉ série, t. X, p. 54).

(2) Van Tieghem, *loc. cit.*

rables signalées chez l'Utriculaire auraient pu conduire quelques botanistes à rechercher si l'expérience ne permettrait pas d'en faire naître de semblables. Un seul expérimentateur, à ma connaissance, a tenté cette recherche : M. Lewakoffski (1) a fait pousser comparativement à l'air et dans l'eau l'*Epilobium hirsutum*, le *Lycopus europæus* et deux espèces de *Lythrum*. Il a comparé entre elles les coupes faites dans les plantes de la même espèce, à la même hauteur. Il a constaté, chez les plantes aquatiques, la production d'un tissu qui n'existe pas dans les plantes terrestres. Il s'est formé en effet, en dedans de l'écorce qui s'exfolie, un tissu spongieux contenant de l'air.

Ce mémoire établit ainsi un point dont l'auteur, il me semble (2), n'a pas compris toute l'importance, car il n'a pas tiré parti de ses expériences en les appliquant à l'explication de la structure des végétaux aquatiques.

L'examen historique qui précède conduit donc à penser que le milieu dans lequel se développent les plantes aquatiques détermine l'apparition d'un certain nombre des caractères de leurs tiges. Comment expliquer, en effet, cette dégradation anatomique d'une espèce vivant dans l'eau chez une famille composée principalement de végétaux terrestres ? Comment se rendre compte de l'uniformité de structure de toutes les tiges aquatiques ? Comment comprendre enfin qu'il puisse exister entre les deux régions d'un même axe, développées en des milieux divers, les différences qu'on y constate ? Ces faits semblent s'accorder, il est vrai, pour prouver qu'ils sont dus à une même cause, qui est l'influence du milieu aquatique ; mais la preuve directe et véritable n'en est pas donnée. Il y a en outre un point que les observations ne peuvent éclaircir et qu'il est

(1) *De l'influence de l'eau sur la croissance de la tige et de la racine de quelques plantes* (*Mém. de l'Acad. impér. de Kazan*, 1873, en russe, analysé dans le *Botanischer Jahresbericht*, 1873, t. I, p. 594).

(2) Je n'ai pu lire le mémoire original *en russe ;* mais comme il n'a pas plus de cinq pages et qu'il est analysé longuement dans le *Botanischer Jahresbericht*, je suppose que rien d'important n'a été omis dans ce compte rendu.

cependant indispensable d'élucider : c'est de savoir si, dans les tiges aquatiques, l'action de l'eau est immédiate. On pourrait expliquer en effet leur organisation par une adaptation lente; cette adaptation étant aujourd'hui opérée, la structure de ces plantes demeurerait invariable.

Il reste donc à établir, après les travaux précédents, qu'il n'en est pas ainsi; que le milieu aquatique agit encore actuellement sur les végétaux; que les variations observées par M. Lewakoffski ne sont pas des transformations maladives et qu'on les retrouve normalement chez les plantes vivant dans l'eau. Il reste à constater dans quel sens l'action présente s'effectue, à voir si les changements que l'on peut faire naître maintenant peuvent servir à retrouver la longue série de modifications qui se sont produites autrefois.

Une étude expérimentale est donc nécessaire pour déterminer l'action immédiate du milieu; c'est par là que j'ai commencé ce travail. Cette influence déterminée, j'ai cherché à retrouver les modifications observées dans cette première partie chez un certain nombre d'espèces dont la tige est en partie aquatique, en partie aérienne, en partie souterraine, afin de voir si ce sont ces mêmes transformations qui, plus accentuées, s'observent à l'état naturel.

J'ai donc divisé ce travail en deux parties :

1° *Étude expérimentale ;*

2° *Étude comparée* des tiges aériennes, aquatiques et souterraines de la même plante.

I

PARTIE EXPÉRIMENTALE.

J'ai fait pousser comparativement, en opérant sur un certain nombre d'espèces, quelques pieds d'un végétal à l'air et plusieurs dans l'eau; j'ai ainsi obtenu, pour chaque plante étudiée, une tige aquatique et une tige aérienne comparables entre elles. Les végétaux soumis à l'expérience peuvent être de deux sortes, soit aquatiques, soit terrestres : dans le premier cas, j'ai maintenu à l'air des plantes vivant ordinairement dans l'eau ou dans les endroits marécageux, et j'ai alors comparé les tiges normales aux tiges anomales; dans le second cas, j'ai fait croître dans l'eau des tiges normalement aériennes, et j'ai cherché les modifications de structure qui s'y produisent. Les sections faites dans les deux tiges, pour le premier cas comme pour le second, sont menées par des points morphologiquement comparables.

Cette partie expérimentale comprend donc deux chapitres, suivant qu'il s'agit de plantes normalement aquatiques ou de plantes normalement aériennes.

I. — Plantes normalement aquatiques.

J'ai l'intention de comparer les tiges aquatiques non seulement aux tiges aériennes, mais aux tiges souterraines. Je dois donc m'occuper ici, non seulement des tiges aquatiques maintenues à l'air, mais des tiges aquatiques maintenues dans le sol que recouvre l'eau. Je m'occuperai successivement de ces deux cas.

a. Tiges aquatiques maintenues à l'air.

Les variations que j'ai pu constater se produisent, soit dans le système lacunaire, soit dans le système vasculaire. soit dans la lacune médullaire, soit enfin dans le diamètre du cylindre central.

1° *Diminution des lacunes.* — La première question qui se

présente dans l'étude de l'influence du milieu sur les tiges aquatiques est de savoir si le séjour sous l'eau détermine le développement des lacunes qui s'y trouvent. On sait que, dans certains cas, la formation du système lacunaire se produit nécessairement à un stade spécial du développement et dans certaines régions pour constituer, par exemple, des appareils flotteurs comme ceux de la tige du *Desmanthus natans*. Les nombreuses lacunes corticales qui déterminent l'apparition des renflements de la tige précédente n'existent pas dans les jeunes entrenœuds de cette curieuse Légumineuse indienne et n'existent plus dans les entrenœuds âgés, quoique toute la plante soit toujours dans l'eau (1).

En laissant de côté ce cas particulier, peut-on dire que la production des lacunes est en général un fait purement morphologique et constitue une phase nécessaire du développement? Afin d'élucider ce point, j'ai fait pousser à l'air diverses plantes croissant uniquement ou le plus souvent dans l'eau. Le *Peplis Portula* vit dans les endroits inondés l'hiver, sur les bords sablonneux des étangs et dans les chemins très humides; il offre une variété entièrement aquatique, à tiges allongées et le plus souvent stériles. J'ai fait pousser une touffe de cette Lythracée dans l'eau et une autre à l'air. Les tiges aériennes sont restées courtes et naines, tandis que les tiges maintenues dans l'eau ont acquis une très grande longueur. Dans les deux tiges (pl. XIV, fig. 1 et 2), le parenchyme cortical est creusé de quatre grandes lacunes qui ne sont séparées de l'épiderme que par une ou deux assises de cellules; ces quatre grandes cavités sont séparées entre elles par quatre cloisons reliant le milieu des quatre faces de la tige au cylindre central. Il y a une différence principale entre les lacunes corticales de ces deux tiges. Les grandes lacunes (pl. XIV, fig. 1 et 2) sont à peu près aussi développées dans la tige aquatique que dans la tige aérienne; mais chez cette dernière, les cloisons restent homo-

(1) Rosanoff, *Ueber den Bau der Schwimmorgane von* Desmanthus natans (*Bot. Zeit.*, 1871, n° 49).

gènes, tandis qu'elles se creusent de lacunes secondaires dans la tige maintenue dans l'eau (pl. XIV, fig. 1 et 2).

J'ai constaté de semblables changements chez le *Callitriche stagnalis* (fig. 3 et 4), le *Nasturtium officinale* (fig. 5 et 6) et le *Myosotis palustris*. Dans la tige aquatique de la première de ces plantes, les cellules du parenchyme cortical sont losangiques, et leurs centres sont disposés sur deux séries de cercles se coupant obliquement, de façon à former comme un treillage; il existe des lacunes très nombreuses, très développées entre ces cellules de l'écorce (pl. XIV, fig. 3). La tige aérienne du *Callitriche* n'offre pas la même disposition des cellules corticales; ces éléments sont rectangulaires, et leurs centres se trouvent sur des cercles concentriques, et les lacunes qui séparent encore ces cellules sont moins importantes que dans la tige aquatique (fig. 4).

Ainsi le milieu aquatique détermine l'accroissement des lacunes corticales des tiges; c'est là un résultat que l'anatomie comparée pouvait faire prévoir, mais que l'expérience seule pouvait établir. Ces variations, quoique faibles, n'en sont pas moins intéressantes, car elles montrent que la durée du séjour à l'air n'a pas besoin d'être bien longue pour que les différences se manifestent. Les expériences prouvent en outre que les lacunes persistent encore lorsque la plante est maintenue dans le milieu aérien; la plante garde donc, malgré les conditions nouvelles de sa vie, ses caractères de végétal aquatique, quoiqu'ils soient moins accentués.

2° *Augmentation du nombre des vaisseaux.* — Pendant que l'écorce se transforme, le cylindre central subit plusieurs modifications importantes. La plus saillante d'entre elles est l'augmentation du nombre des vaisseaux dans la tige aérienne; il suffit, pour s'en rendre compte, de comparer les sections assimilables faites dans les tiges aquatiques et aériennes du *Peplis* (fig. 1 et 2), du *Callitriche* (fig. 3 et 4), du *Nasturtium officinale* (fig. 5 et 6). Voici d'ailleurs un tableau résumant ces résultats :

NOM DES ESPÈCES.	NOMBRE TOTAL DES VAISSEAUX.	
	TIGES AQUATIQUES.	TIGES AÉRIENNES.
Peplis Portula........	25	53
Callitriche stagnalis.	4	12
Nasturtium officinale.	18	57

Chez le *Nasturtium*, il y a cinq centres de lignification dans la tige aérienne et seulement quatre dans la tige aquatique; de plus, non seulement chaque faisceau est plus développé dans la première tige que dans la deuxième (douze et dix-huit vaisseaux dans le premier cas, et six au plus dans le second), mais on constate dans la tige aérienne seulement l'existence de plusieurs vaisseaux non lignifiés.

Ces constatations importantes permettent de comprendre, en partie du moins, l'organisation des faisceaux des tiges aquatiques. M. de Bary (1) les a divisés en deux catégories : 1° les faisceaux imparfaits; 2° les faisceaux rudimentaires. Dans le premier cas (*Zannichellia*, *Althenia*, etc.), il y a des vaisseaux spiralés, au moins aux nœuds; dans le deuxième cas (*Ceratophyllum*, *Naias*, etc.), le canal axile qui occupe le centre de la tige naît de la dissolution des cellules du méristème non transformées en vaisseaux. Les résultats des expériences rapportées plus haut montrent que le milieu aquatique intervient d'une manière prépondérante pour déterminer la réduction du système vasculaire. J'ai déjà trouvé, dans le cours de ces recherches, que le nombre des vaisseaux diminue quand une tige aérienne est maintenue sous le sol; ici l'effet inverse se produit : quand une tige aquatique est transportée dans l'air, le nombre des éléments conducteurs augmente. Il y a cependant une différence d'intensité entre ces deux résultats, car jamais le système vasculaire ne disparaît complètement dans

(1) *Vergleichende Anatomie*, p. 381 et suivantes.

les rhizomes, ainsi que cela peut arriver dans les tiges aquatiques.

3° *Apparition de fibres libériennes et diminution de la lacune médullaire.* — Les tiges aériennes du *Callitriche* (qui, en grimpant les unes sur les autres, ont produit, dans un bassin où je les cultivais, un riche gazon aérien) présentent deux faits intéressants. On y observe d'abord un léger épaississement de quelques cellules libériennes qui deviendront les fibres de ce tissu (fig. 4, *fl*); ensuite on voit que la lacune médullaire y est moins développée que dans la tige aquatique. Les quelques vaisseaux qui existent dans les entrenœuds de plusieurs espèces aquatiques disparaissent souvent par suite de la formation d'une lacune au centre de cet axe. Le milieu aquatique est encore une des causes qui déterminent l'apparition de cette lacune; elle est en effet plus développée dans la tige du *Callitriche* ayant pris son accroissement dans l'eau que dans celle qui est restée à l'air (fig. 3, *lm*), les deux sections étant faites en des points comparables.

Grâce à cette observation, le nombre des vaisseaux, dans cette espèce, doit être plus grand dans une tige aérienne que dans une tige aquatique pour deux raisons, d'abord parce qu'il y a plus de vaisseaux formés, ensuite parce qu'il y en a moins de détruits.

4° *Augmentation du cylindre central.* — L'accroissement du cylindre central peut accompagner le précédent développement du système vasculaire. Ce fait résulte clairement de la comparaison des figures 1 et 2 représentant les deux sections assimilables du *Peplis*. Ce résultat offre une certaine importance à cause des débats qui se sont souvent élevés entre quelques botanistes sur la nature de la région centrale des tiges aquatiques. M. Caspary, par exemple, pense qu'il y existe souvent un simple faisceau axile (1). M. Sanio (2) croit au

(1) Chez les Hydrillées, l'*Aldrovandia*, les *Naias*.

(2) Voyez la réponse de ce botaniste aux objections de M. Caspary, *Einige Bemerkungen in Betreff meiner über Gefässbildung geäusserten Ansichten* (*Bot. Zeit.*, 1865, n° 21, p. 164).

contraire que ces faisceaux centraux ne sont pas simples, mais présentent une structure analogue à celle des Dicotylédones terrestres. L'expérience faite sur le *Peplis Portula* plaide en faveur de l'opinion de ce dernier botaniste. Le milieu aquatique, en réduisant d'une part le diamètre de la moelle et du cylindre central, en arrêtant d'une autre le développement des vaisseaux, détermine la formation de corps centraux qui, par leur exiguïté et la faible importance du système vasculaire, ont pu être confondus avec un faisceau unique. La tige aquatique de la plante précédente offre une moelle d'un diamètre notable, un anneau de bois et un anneau de liber; cet ensemble rappelle absolument la structure des cylindres centraux de beaucoup de tiges de Primulacées, Scrofularinées, etc. On peut donc ramener, par une série de transitions, la structure du corps qui se trouve au centre de ces tiges aquatiques au type normal d'un cylindre central entouré par un endoderme, et comprenant un anneau libéro-ligneux entourant un tissu médullaire.

b. Tiges aquatiques maintenues sous terre.

Les résultats précédents montrent qu'une tige aquatique se modifie beaucoup lorsqu'on la maintient à l'air; il s'agit de voir maintenant si elle est susceptible également de variations quand on l'enterre dans le sol vaseux du fond de l'eau. J'ai tenté cette expérience avec le *Nasturtium officinale* et le *Myosotis palustris*.

Chez le *Nasturtium officinale*, plusieurs différences principales sont à signaler lorsque l'on compare le deuxième entre-nœud de la tige aquatique à celui de la tige maintenue sous terre. D'abord, au point de vue externe, la première est moins anguleuse que la seconde (qui est d'ailleurs à arêtes moins vives que la tige aérienne). Ensuite, *les lacunes de l'écorce diminuent d'importance dans la tige souterraine;* c'est donc lorsque la tige est plongée dans l'eau que le volume des lacunes est maximum. Ces cavités peuvent subsister dans une tige souterraine aussi bien que dans une tige aérienne, mais leur

capacité y est moindre. En outre, *le système vasculaire est plus développé dans la tige maintenue sous terre* que dans la tige aquatique; or on sait que, si le nombre des vaisseaux des rhizomes est inférieur à celui des tiges aériennes, la dégradation du système conducteur n'est jamais aussi faible que dans les tiges aquatiques, où le tissu vasculaire peut faire complètement défaut.

Voici un tableau mettant ce fait en évidence. J'y ajoute en outre les résultats obtenus pour une tige aérienne comparable.

	NOMBRE DES VAISSEAUX D'UN FAISCEAU.		
	TIGE AQUATIQUE.	TIGE SOUTERRAINE.	TIGE AÉRIENNE.
Faisceau avancé........	6	10	18
Faisceau peu développé.	3	5	7

Enfin les épaisseurs de l'écorce et de la moelle sont représentées par les nombres suivants, rapportés à une division du micromètre prise comme unité :

TIGES DIFFÉRENTES.	ÉCORCE.	MOELLE.
Tige aquatique	27	14
Tige souterraine..................	40	30
Tige aérienne	25	35

On constate donc que *la moelle, et le cylindre central par conséquent, sont plus développés dans la tige souterraine* que dans la tige aquatique; on n'est pas tenté en effet, malgré la réduction du cylindre central des rhizomes, de regarder cette région axile comme un simple faisceau, ainsi qu'on l'a fait pour les tiges aquatiques.

Ce tableau met en outre en évidence le *grand développe-*

ment de l'écorce dans la tige souterraine, ce qui s'accorde parfaitement avec l'ensemble de mes recherches précédentes sur les rhizomes : ce fait est d'autant plus important à signaler, que les épaisseurs de l'écorce des tiges aériennes et aquatiques sont peu différentes, quoique cependant les premières soient en général un peu plus développées.

J'ai obtenu des résultats semblables avec le *Myosotis palustris*.

II. — Plantes normalement terrestres.

Après avoir maintenu à l'air des plantes normalement aquatiques, j'ai fait développer dans l'eau des plantes normalement aériennes et terrestres. Cette étude établit divers résultats intéressants.

1° *Persistance de l'épiderme.* — J'ai obtenu, avec le *Vicia sativa*, un accroissement important des tiges maintenues dans une eau où passait un courant d'air, car leur longueur a triplé pendant la durée de l'expérience. Malgré leur séjour dans ce liquide, ces plantes sont recouvertes par un épiderme absolument analogue à celui qu'offrent les tiges qui sont restées à l'air. Dans les deux cas, la membrane épidermique est caractérisée à la fois par la présence de stomates et par l'absence de chlorophylle dans les cellules non stomatiques. La vie aquatique ne fait donc point disparaître cette assise superficielle, comme on l'a cru pendant quelque temps à la suite des observations de Brongniart (1) et de Jussieu (2). On sait que le premier de ces deux botanistes ayant observé l'absence d'épiderme chez le *Potamogeton lucens*, le second auteur généralisa trop hâtivement cette observation, et affirma que le milieu dans lequel vit une plante détermine la présence ou l'absence de cette membrane stomatifère. Il résultait de cette théorie que la face supérieure des feuilles nageantes doit seule avoir des stomates. Or on sait

(1) *Nouvelles Recherches sur la structure de l'épiderme.*
(2) *Cours élémentaire de botanique*, p. 45.

depuis longtemps que cette règle présente de nombreuses exceptions qui deviennent de jour en jour plus nombreuses. M. Duchartre a trouvé des stomates sur la face inférieure des feuilles nageantes du *Limnocharis Humboldtii* (1). M. Borodin, chez les *Callitriche* (2), M. Askenasy, chez le *Ranunculus aquatilis* (3), ont pu constater l'existence de ces appareils sur les feuilles submergées. Les résultats précédents, qui ont été établis par de simples observations, ont été confirmés par les recherches expérimentales de M. Lewakoffski sur les rejets de *Rubus fruticosus* (4) développés dans l'eau ; en effet, les feuilles aquatiques de cette plante présentent encore des stomates. L'expérience que j'ai faite sur le *Vicia* permet de conclure que l'épiderme des tiges se comporte comme celui des feuilles, c'est-à-dire qu'il garde ses caractères lorsque l'axe se développe dans l'eau.

2° *Invariabilité de l'épaisseur de l'écorce.* — L'accroissement considérable de l'écorce dans les tiges souterraines est un des faits les plus saillants et les plus généraux qui résultent de mon premier mémoire ; cette modification se retrouve dans les plantes étiolées. Le séjour sous l'eau produit-il, à ce point de vue, le même effet que le séjour sous le sol ? On a quelquefois comparé les plantes aquatiques aux plantes étiolées (5) ; retrouve-t-on dans les premières les changements signalés pour les secondes ?

(1) *Bull. Soc. bot. de France*, t. II, p. 675. Ce botaniste a compté en effet soixante-dix stomates par millimètre carré à la face inférieure d'une feuille nageante de cette espèce.

(2) *Ueber den Bau der Blattspitze einiger Wasserpflanzen* (*Bot. Zeit.*, 1870, n° 52, p. 840).

(3) *Ueber den Einfluss des Wachstumsmediums auf die Gestalt der Pflanzen* (*Bot. Zeit.*, 1870, n° 13, p. 192).

(4) *Influence du milieu sur la forme des plantes* (*Mém. de l'Acad. de Kazan*, 1873, n° 6, en russe, analysé dans le *Botanischer Jahresbericht*, 1873, t. I, p. 594).

(5) Quelques faits semblent justifier cette comparaison : le grand allongement des pétioles et des pédoncules floraux du *Ranunculus aquatilis*, et des tiges d'autres espèces quand la plante est immergée (Mer, *Bull. Soc. bot. de France*, 1879, p. 91, et observations de M. Prillieux, *ibid.*).

Les faits que j'ai pu constater dans le cours de ces recherches sont loin de justifier cette comparaison, malgré quelques analogies dans les résultats. En premier lieu, je n'ai pas observé l'accroissement en longueur pour les plantes terrestres, qui caractérise les plantes étiolées. Ainsi dans une expérience sur le *Phaseolus vulgaris*, qui a duré près d'un mois, les tiges aériennes et aquatiques ont à peu près la même longueur (14 centimètres); cependant leur hauteur a doublé pendant la durée de l'expérience. Chez le *Vicia sativa*, les tiges aquatiques sont un peu plus longues que les tiges aériennes, mais la différence qui existe entre elles est trop faible pour pouvoir être comparée à l'élongation due à l'étiolement. En second lieu, l'écorce conserve à peu près la même épaisseur dans les deux tiges : j'ai trouvé en effet que, chez le *Lupinus albus*, l'épaisseur de la tige aérienne est de quatre-vingt-quatre divisions micrométriques et de quatre-vingt-cinq dans les tiges aquatiques. L'écorce reste également invariable dans le *Ricinus communis* et dans les deux plantes citées plus haut.

3° *Diminution des fibres libériennes.* — Malgré les différences qui viennent d'être signalées entre les tiges aquatiques et les tiges étiolées, il y a cependant entre elles plusieurs analogies; on trouve dans les deux cas le même retard dans l'apparition des fibres libériennes, le même arrêt dans le développement du système vasculaire. Tandis que, par exemple, les fibres du liber n'existent pas dans une tige de Ricin maintenue sous l'eau, elles sont bien nettement caractérisées dans la tige aérienne. Le Lupin permet d'observer des différences dans le même sens, quoique moins accentuées.

4° *Faible développement du système vasculaire.* — La diminution du nombre des vaisseaux dans les tiges maintenues dans l'eau se produit d'une manière très uniforme. Voici un tableau établissant ce fait par la comparaison du nombre des éléments vasculaires développés dans les deux sortes de tiges de même espèce ayant grandi, les unes à l'air, les autres sous l'eau :

NOMS DES ESPÈCES.		NOMBRE DES VAISSEAUX D'UN FAISCEAU	
		D'UNE TIGE AÉRIENNE.	D'UNE TIGE AQUATIQUE.
Vicia sativa.	Milieu de la tige...	47	38
	Bas de la tige......	66	46
Ricinus communis.	Milieu de la tige....	26	10
	Bas de la tige......	21	19
Phaseolus vulgaris.............		22	9
Faba vulgaris.	Faisceaux des pans de la tige.......	5	2
	Faisceaux des angles de la tige........	36	15

Les deux premières espèces de ce tableau permettent de voir que les différences se maintiennent dans le même sens à des hauteurs variables. Ainsi donc, bien que le nombre des vaisseaux des tiges aquatiques augmente d'une manière notable lorsqu'elles vieillissent, il reste toujours inférieur à celui des tiges développées à l'air. L'expérience mentionnée en dernier lieu sur la Fève fut faite dans des conditions particulières : tous les pieds avaient été mis originairement à l'obscurité. Ces plantes étiolées furent séparées en deux lots. Celui qui fut mis à la lumière et à l'air se modifia très rapidement, et la chlorophylle y apparut avec une étonnante rapidité. Le deuxième lot fut mis dans l'eau; mais, quoique exposé à la lumière, le verdissement ne se manifesta pas ; le séjour initial de ces plantes à l'obscurité les avait modifiées d'une façon toute spéciale, de sorte qu'elles s'arrêtèrent dans leur développement. Le retard était surtout manifesté par la faible importance du système ligneux. Ainsi, dans tous les cas, le

nombre des vaisseaux formés dans la tige aquatique est moindre que dans la tige aérienne.

Conclusions de la partie expérimentale :

En premier lieu, il ressort de l'ensemble de cette étude expérimentale, soit du séjour à l'air des tiges aquatiques, soit du maintien dans l'eau des tiges aériennes, que le milieu aquatique :

1° Détermine la formation de lacunes corticales ou médullaires;

2° Arrête le développement des systèmes vasculaires ou fibreux.

En second lieu, le séjour sous le sol d'une tige normalement aquatique :

1° Détermine une diminution des lacunes, mais un accroissement de l'épaisseur de l'écorce;

2° Produit une moindre réduction du système vasculaire que dans les tiges aquatiques.

Quoique les deux premiers résultats viennent confirmer ce que l'anatomie pure pouvait faire prévoir, l'intervention de l'expérience n'en était pas moins nécessaire pour transformer une opinion vraisemblable en un fait établi. La puissance du système lacunaire, la faiblesse du système ligneux des tiges aquatiques, tiennent donc à l'action de l'eau.

Les deux seconds résultats permettent de conclure que les tiges souterraines des plantes aquatiques offriront les caractères des rhizomes des plantes terrestres, et que par conséquent leur système vasculaire ne sera jamais aussi dégradé que dans les tiges aquatiques.

DEUXIÈME PARTIE.

L'influence du milieu peut être déterminée, ainsi que cela a été dit plus haut, et en laissant de côté l'*anatomie comparée* qui est une méthode trop indirecte, soit à l'aide de l'*anatomie expérimentale*, soit avec le secours de l'*anatomie comparative* des parties d'un organe plongées en des milieux différents. La première de ces deux méthodes ayant donné un certain nombre de résultats, il faut chercher maintenant à les vérifier et les généraliser par la seconde. Ce qui caractérise les recherches expérimentales précédentes, c'est que les coupes comparées sont toujours menées à travers *deux pieds différents*, en des points morphologiquement comparables, afin de n'avoir pas à tenir compte des inégalités d'âge. Je vais maintenant étudier les changements de structure qui se manifestent dans *une même tige* ayant une partie aquatique, une région aérienne, et pouvant avoir une portion souterraine. Suivant que la comparaison porte sur la première et la deuxième, ou bien sur la première et la troisième de ces régions d'un même axe, les résultats seront différents ; ces deux recherches constituent deux études distinctes qui feront l'objet de deux chapitres séparés.

I. — Comparaison des tiges aquatiques et aériennes.

La même structure s'observe-t-elle dans les parties aquatiques et aériennes d'une même tige ? L'aspect extérieur des tiges submergées renseigne peu sur cette question, car il n'est pas aussi caractéristique que celui des rhizomes, qui constituent, comme on le sait, de longs cordons blancs n'ayant que des écailles ; les régions de la tige qui séjournent sous l'eau sont vertes comme celles qui s'accroissent dans l'air, les unes et les autres portent des feuilles qui décomposent toutes les deux l'acide carbonique. S'il y a des différences entre ces régions, elles sont plus saillantes pour les feuilles, dont je n'ai

pas à m'occuper ici, que pour les tiges : ainsi, par exemple, les feuilles de l'*Hippuris vulgaris*, minces et rubanées dans l'eau, deviennent raides et charnues à l'air, tandis que la tige garde le même aspect dans les deux milieux. Une étude expérimentale préalable était donc plus nécessaire pour la recherche de l'action du milieu sur les tiges aquatiques que sur les tiges souterraines. Cet examen premier est d'autant plus utile que les différences qui existent entre les parties aériennes et aquatiques d'une tige peuvent être dues à d'autres causes qu'à l'action de l'air ou de l'eau. Chez l'Utriculaire, par exemple, le pédoncule florifère aérien est dépourvu de feuilles, tandis que la partie aquatique en possède; ces deux régions ne sont donc pas morphologiquement semblables. Puisque, comme on le sait, les feuilles se modifient souvent d'une manière très sensible au voisinage des fleurs, il n'y a point lieu de s'étonner de voir la structure de la tige florale différer de celle de la tige végétative.

En somme, après avoir établi dans le chapitre précédent, que le milieu aquatique modifie la structure de la tige, je vais chercher à montrer que les transformations produites ainsi artificiellement s'opèrent tous les jours dans la nature; l'expérience se trouvera ainsi vérifiée et généralisée.

Je montrerai en terminant, à l'aide de quelques exemples, que la structure n'est pas uniforme dans un même milieu; que, parmi les différences qui existent entre une tige aérienne et une tige aquatique, les unes peuvent être dues au milieu, les autres doivent être regardées comme héréditaires : ce paragraphe justifiera la nécessité de l'expérience.

Les lacunes, le collenchyme, l'endoderme, les faisceaux, n'ont pas la même organisation dans les deux régions de la tige; aussi vais-je énumer les différences que j'ai pu constater pour ces divers éléments.

1° *Lacunes*. — L'augmentation des lacunes est le premier résultat établi par l'expérience, lorsque les tiges, au lieu de rester dans l'air, sont maintenues dans l'eau. J'ai toujours

retrouvé le même accroissement en comparant la portion aérienne à la portion aquatique d'un même axe.

Une première observation faite sur le ***Mentha aquatica*** est aussi probante qu'une expérience, car la partie offrant la plus grande différenciation est la plus jeune. Un certain nombre de pieds de cette plante ont grandi au bord de l'eau, mais dans un terrain sec; une branche renversée plonge par sa pointe dans le liquide. Dans ce nouveau milieu, la tige s'est élargie, ses angles sont moins bien indiqués, et sa surface est glabre. Les transformations internes sont également très nettes, ainsi que la comparaison des figures 7 et 8 (pl. XV) permet de s'en assurer; les lacunes de la partie aquatique, qui est la plus jeune, sont considérables, et l'écorce a pris, grâce à l'agrandissement de ces cavités, un accroissement important.

Les lacunes ne sont pas toujours irrégulières comme dans le cas précédent; il peut arriver, après que la gélification a divisé la cloison des cellules voisines, que des bipartitions successives des cellules de bordure de la lacune permettent à la cavité de s'accroître sans destruction des membranes cellulaires. Le tissu ainsi formé est *lamelleux* et les lacunes sont *schizogènes* (1). Ce cas se présente chez le ***Myriophyllum spicatum***. Les lacunes de cette plante sont disposées en cercle, leur forme est aussi régulière que leur disposition relative; on voit que des lames formées d'une seule assise de cellules les séparent (pl. XV, fig. 10). Dans ce cas comme dans le précédent, la capacité de ces grandes cavités est plus grande dans les parties submergées, c'est-à-dire que la loi est la même, que les lacunes soient régulières ou non.

Une lacune médullaire peut exister normalement dans les parties aériennes d'un grand nombre de végétaux terrestres. J'ai déjà eu l'occasion de montrer comment la moelle de ces tiges se creuse très souvent en son centre d'une grande cavité; on sait que ce grand vide se produit par le déchirement des cellules constituantes causé par la grande extension des tissus

(1) De Bary, *Vergleichende Anatomie*, p. 224.

centraux des tiges aériennes. M. de Bary dit que la lacune est *lysigène* (1) dans ce cas, parce qu'elle résulte de la destruction et non du décollement des cellules. La loi de l'accroissement des cavités à air n'est pas applicable aux lacunes lysigènes précédentes. J'ai montré, en effet, dans la partie expérimentale, que le cylindre central diminue d'importance dans les tiges aquatiques. Le séjour d'une tige dans l'air, comme on le sait, développe au contraire cette région d'une manière exagérée; c'est de ce développement que résulte la dissociation de la partie centrale. La formation de ce grand conduit à air étant due à une cause tout à fait spéciale, il n'y a rien d'étonnant que la loi de l'accroissement des lacunes des tiges submergées ne lui soit pas applicable.

Ce grand conduit médullaire se voit dans les tiges aériennes de l'*Hottonia palustris* (pl. XV, fig. 12) et de l'*Equisetum palustre* (pl. XVII, fig. 23), tandis que la portion aquatique de la tige de ces deux végétaux n'offre aucune cavité analogue (pl. XV, fig. 11 ; pl. XVII, fig. 22). La diminution du cylindre central est très prononcée dans ces deux derniers cas. Le milieu aquatique agit cependant comme à l'ordinaire sur l'écorce de ces deux espèces. On voit bien, en effet, quelques méats entre les cellules corticales de la tige aérienne de l'*Hottonia* (fig. 12, *l*), mais ces espaces intercellulaires sont de bien faible importance auprès des grandes lacunes de l'écorce de la tige aquatique (fig. 11, *l*). Un changement analogue est manifeste pour l'*Equisetum palustre*, ainsi qu'on peut le voir nettement en comparant les figures 22 et 23. Ce dernier exemple montre qu'une plante appartenant aux Cryptogames vasculaires se comporte, sous l'influence de l'eau, absolument comme les Phanérogames.

Les Monocotylédones se modifient de la même manière que les autres Phanérogames. La longue hampe florale du *Butomus umbellatus* présente une grande réduction des cavités intercellulaires dans la partie hors de l'eau relativement à celle qu

(1) *Loc. cit.*, p. 225.

se trouve au-dessous du niveau du liquide. Un pied de l'*Hydrocleis Humboldtii*, que j'ai pu étudier, possède plusieurs pédoncules floraux, les uns aériens, les autres aquatiques. Les lacunes corticales des sections faites dans les deux tiges au-dessous de la fleur sont de dimensions diverses, mais les diamètres des cavités aérifères du pédoncule submergé sont les plus grands, ainsi que les mesures suivantes l'établissent.

Diamètre des lacunes du pédoncule aquatique.	Diamètre des lacunes du pédoncule aérien.
75	50
50	33
44	30
35	29

On peut multiplier les exemples établissant le même résultat pour les familles les plus diverses de Dicotylédones. Chez le *Ranunculus sceleratus*, la loi est manifeste; tandis que les cavités à air sont petites et écrasées dans la partie aérienne (pl. XVI, fig. 18, *l*), elles sont volumineuses dans la partie aquatique (fig. 17, *l*). Le nombre des cellules constituant les côtés de la section polygonale de ce canal aérien est de deux ou trois dans le premier cas, et six ou sept dans le second.

Puisque le volume des espaces lacunaires augmente dans la partie de l'axe plongée sous l'eau, il en résulte un boursouflement de toute l'écorce qui n'est pas comparable à celui qui se produit chez les tiges souterraines, car, pour ces dernières, cet effet est dû à l'accroissement et à la multiplication des cellules. L'épaisseur de l'écorce des plantes aquatiques devient donc considérable.

Cette transformation se manifeste avec la plus grande netteté chez le *Veronica Anagallis* (pl. XVI, fig. 15 et 16). Chez le *Nasturtium amphibium*, l'écorce s'accroît à la fois parce que les lacunes ont un plus grand volume, et parce que le nombre des cellules est beaucoup plus grand (pl. XV, fig. 13, et pl. XVI, fig. 14). La seconde cause d'épaississement du parenchyme cortical se révèle pour cette dernière espèce avec beaucoup de clarté.

Chez les plantes franchement aquatiques, qui sortent seulement un peu de l'eau pour fleurir, les lacunes formées dans la tige submergée restent très développées dans la partie aérienne, quoique leur extension diminue légèrement. Le diamètre des sections des lacunes de l'*Hippuris vulgaris*, par exemple, étant de neuf divisions micrométriques dans la région aérienne s'élève à seize dans la partie submergée voisine.

En résumé, que la plante soit une Dicotylédone ou une Monocotylédone, une Phanérogame ou une Cryptogame vasculaire, un végétal franchement aquatique ou une espèce amphibie, la variation dans la structure se produit toujours dans le même sens : les lacunes sont plus grandes dans la partie aérienne que dans la portion submergée de la tige.

Une même transformation dans les conditions d'existence, détermine partout les mêmes changements.

2° *Collenchyme.* — Tandis que dans l'écorce le tissu à parois minces se creuse ainsi de lacunes, le tissu à parois épaisses se modifie également. J'ai parlé plus haut d'une Menthe dont les lacunes sont très dissemblables au-dessus et au-dessous de la surface de l'eau; le collenchyme, au contraire, est à peu près au même stade de son développement dans l'une et l'autre région. L'extrémité de la tige, qui est plongée dans l'eau, se redresse vers la surface du niveau du liquide après s'être recourbée ; il existe donc, dans ce cas, un appareil de soutien maintenant cette partie terminale rigide. Cet appareil est nécessairement le collenchyme, puisque tous les autres tissus de la section transversale sont constitués par du parenchyme, sauf un très petit nombre de vaisseaux formés dans le cylindre central (pl. XV, fig. 8, *b*). Il est curieux, dans cet exemple, de constater simultanément une accélération manifeste dans le développement du collenchyme, qui d'ailleurs n'atteint pas pour cela un développement définitif aussi grand que dans les tiges aériennes, et un retard évident dans la formation des vaisseaux ligneux de la partie aquatique qui est la plus jeune (fig. 7 et 8, *col* et *b*).

Il résulte de l'examen précédent que certaines cellules de l'écorce des tiges aquatiques peuvent épaissir leurs parois de façon à former une sorte de squelette qui supporte les tissus mous de la plante. Les tiges aquatiques se distinguent par ce caractère des tiges souterraines, chez lesquelles l'activité du protoplasma n'est pas employée à former de semblables épaississements de la paroi. Le fait signalé pour la Menthe n'est pas isolé, car j'ai retrouvé ce même tissu collenchymateux chez d'autres tiges qui se développent dans l'eau. Ainsi la section transversale de la région aérienne de l'axe feuillé du *Sium angustifolium* est dentée, et un groupe de cellules à parois épaissies, mais non lignifiées, existe à l'intérieur de chacune de ces denticulations. Les saillies externes disparaissent dans la partie aquatique de la tige, mais les groupes de collenchyme subsistent aux mêmes endroits; on peut constater cependant que ce tissu est moins puissant, qu'il ne commence pas sous l'épiderme, comme cela à lieu chez la tige aérienne, que l'épaississement des parois est moins grand. Cette décroissance est également manifeste quand on compare successivement la partie aérienne et la partie aquatique de l'*Helosciadium inundatum*.

La tige d'*Equisetum palustre* offre d'abord la même série de variations dans la région submergée supérieure. On sait que la tige aérienne des Prêles présente des cannelures dont les saillies, qui se trouvent en face des faisceaux vasculaires, sont soutenues par un puissant tissu de soutien (pl. XVII, fig. 23, *col.*). Au-dessous de la surface de niveau du liquide dans lequel un certain nombre de pieds sont plongés, on constate une diminution des parois des cellules constituant le précédent tissu; bientôt son épaisseur devient moins grande. Finalement, dans les parties aquatiques profondes et à une faible distance de la terre, le collenchyme a complètement disparu (fig. 22).

En somme, l'appareil de soutien constitué par le collenchyme est moins développé dans les tiges aquatiques que dans les tiges aériennes; cela peut se comprendre puisque le milieu dans lequel les premières se développent et flottent est plus

dense, et qu'en outre leur poids spécifique est moindre, car leurs tissus sont creusés de cavités à air plus grandes. Seulement la disparition de ce tissu s'y fait progressivement au lieu d'être immédiate, comme chez les tiges souterraines; elle n'est complète que dans les régions profondément submergées.

3° *Endoderme.* — En général l'endoderme possède la même structure dans les deux tiges; les plissements peuvent être visibles à la fois ou manquer en même temps dans les deux régions aériennes et aquatiques. J'ai pu cependant observer, dans quelques cas, des différences dans l'organisation de cette membrane entre ces deux parties. Chez le *Nasturtium amphibium*, l'assise la plus interne de l'écorce n'offre pas de plissements, elle est cependant caractérisée par sa situation contre les fibres des faisceaux et par la disposition régulière de ses cellules (pl. XV, fig. 13, *end*) ; on voit donc manifestement que c'est la même assise que l'endoderme à plissements très nets qui termine la puissante écorce de la tige aquatique (pl. XVI, fig. 14, *end*). L'endoderme peut donc avoir des plissements dans la partie submergée et en manquer dans la partie aérienne.

4° *Faisceaux.* — Le tissu de soutien pouvant persister dans l'écorce, il paraît vraisemblable qu'un appareil analogue se rencontre dans le cylindre central autour des faisceaux : c'est effectivement ce que j'ai vérifié dans un certain nombre de cas. C'est surtout chez les plantes amphibies, qui vivent tantôt sur le bord des ruisseaux, tantôt plongées dans l'eau, que l'on observe ce fait. Dans ce dernier cas, non seulement le système fibreux, mais tous les éléments des faisceaux peuvent subsister presque avec un égal développement au-dessous ou au-dessus de l'eau : cela est visible chez le *Ranunculus sceleratus.* Les faisceaux de cette tige, dans sa région aquatique, sont plongés dans un tissu lacuneux constitué par l'écorce et la moelle, car il n'y a pas de séparation entre ces deux parties de la section transversale. Non seulement il existe autour de chaque faisceau une gaine fibreuse (pl. XVI, fig. 19, *g*), mais un groupe

important de fibres libériennes (*f*) se trouve vers la partie externe, exactement comme dans la portion aérienne de cette plante (fig. 18, *g* et *f*). Les faisceaux de la partie submergée étant beaucoup plus âgés, il est compréhensible que la couche génératrice y soit mieux indiquée (fig. 19, *cg*) que dans la partie aérienne; il faut même attribuer l'identité presque complète de structure de ces deux régions à un retard produit, chez la première, par le séjour sous l'eau. Ce qui justifie cette interprétation, c'est qu'en dehors des faisceaux, la jeune tige aérienne est plus différenciée que la tige aquatique plus vieille, car des bandes de tissu ligneux tendent à se former entre les faisceaux de manière à séparer l'écorce de la moelle.

Chez d'autres plantes amphibies, comme le *Nasturtium amphibium* et le *Polygonum amphibium*, on constate d'aussi faibles différences entre les faisceaux des deux portions de la tige. La première de ces deux plantes possède, en face des faisceaux ligneux, des groupes de fibres libériennes d'importance à peu près égale dans les deux régions de la tige; il y a donc un retard dans le développement de la partie submergée.

Le tissu ligneux en général, et les faisceaux en particulier, ont à peu près la même épaisseur dans les deux cas, seulement les éléments sont à parois moins épaisses, à cavité plus large dans la région aquatique; l'élément parenchymateux y domine, tandis que l'élément fibreux a plus d'importance dans la partie aérienne (pl. XVI, fig. 14, et pl. XV, fig. 13, *b*). La lignification s'étend en outre à un plus grand nombre de cellules du faisceau ligneux de cette dernière région. En effet, dans la portion submergée de la tige, les vaisseaux internes, isolés complètement dans un parenchyme non lignifié, sont plus nombreux. C'est principalement par ce dernier caractère, qui existe également chez le *Ranunculus* précédent, que les faisceaux du *Nasturtium amphibium* se rapprochent de ceux des végétaux aquatiques.

Le *Polygonum amphibium* est remarquable, à égal titre, par la persistance des tissus fibreux et vasculaires. On observe dans la tige aérienne un anneau de fibres sur toute la péri-

phérie du cylindre central; cet anneau externe est renforcé par un autre qui borde les faisceaux intérieurement et qui s'accole au premier dans la région interfasciculaire. Ce tissu peut subsister en entier dans la partie aquatique. Quant aux faisceaux ligneux, comme pour l'espèce précédente, leur pointe interne est uniquement formée de vaisseaux à large cavité, isolés de tous les côtés au milieu de tissu non lignifié (pl. III, fig. 14, *pn*). On voit donc qu'un végétal garde, lorsqu'il plonge dans l'eau seulement par sa base, presque la même structure au-dessus et au-dessous du niveau liquide. Cependant s'il se développe, par hasard, dans une eau profonde, sa structure se modifie complètement; c'est ce que j'ai pu constater pour l'espèce précédente. Après avoir maintenu cette plante pendant deux mois dans un bassin, à un mètre au-dessous du niveau de l'eau, j'ai pu observer une réduction considérable de l'appareil fibreux, de sorte qu'il n'existe plus qu'un petit nombre d'arcs fibreux à la pointe interne des faisceaux les plus avancés. Les faisceaux sont eux-mêmes très dégradés, car plusieurs d'entre eux sont restés à l'état de méristème.

On voit donc, même dans le cas où la structure aérienne subsiste presque complètement dans la partie aquatique, que l'on arrive cependant à retrouver les signes ordinaires de l'influence du milieu, c'est-à-dire un commencement de dégradation dans l'organisation du faisceau ligneux. De plus, si l'on vient à plonger cette plante dans une eau profonde, l'organisation devient rudimentaire, les fibres disparaissent ainsi que la plupart des vaisseaux.

J'ai fait des observations semblables chez un certain nombre d'autres plantes. Le *Ranunculus ophioglossifolius* a presque exactement la même structure que le *R. sceleratus;* on y voit, de même que chez ce dernier, dans la tige aérienne l'indication d'un cercle de cellules lignifiées reliant les faisceaux entre eux.

Le système vasculaire du *Comarum palustre* est bien développé dans la partie aquatique, il forme un anneau ligneux

puissant; mais l'action du milieu se manifeste, chez cette plante, par la disparition d'un cercle fibreux très épais qui existe dans la partie aérienne (les lacunes sont également très développées dans l'écorce aquatique). La même organisation des vaisseaux en anneau se retrouve chez le *Veronica Anagallis* et *V. scutellata*, dans la base aquatique.

Dans les exemples précédents, c'est le type aérien qui persiste dans la région aquatique; il peut arriver, pour d'autres plantes, que la structure aquatique dégradée se maintienne au contraire dans la tige aérienne. Ainsi le deuxième entre-nœud aérien d'une pousse du *Sium angustifolium* ne présente pas de fibres libériennes, et, dans le faisceau du bois, les vaisseaux seuls sont imprégnés de lignine, car le tissu intermédiaire est resté à l'état de parenchyme mou. La même organisation se retrouve dans une coupe faite à travers le deuxième entre-nœud aquatique. Une disposition curieuse s'observe dans les deux régions : un petit faisceau satellite se trouve de chaque côté des grands faisceaux de la tige; l'endoderme enferme, dans les deux tiges, ce groupe trifasciculaire. Il existe en outre, dans la partie libérienne du faisceau médian, un canal résineux; il se retrouve dans les deux régions avec un égal développement.

En laissant de côté les particularités spéciales à cette espèce, on voit que les faisceaux restent presque identiques quand cette plante commence à se développer dans l'eau ou l'air. Tous les tissus de cette Ombellifère ne se modifient pas aussi lentement, car les lacunes deviennent tout de suite moins grandes dès que la tige est à l'air.

Chez les espèces franchement aquatiques, les vaisseaux sont toujours peu nombreux; les vaisseaux qui subsistent dans la partie submergée sont eux-mêmes modifiés, car leur paroi est moins épaisse et moins lignifiée, en même temps que leur diamètre s'accroît beaucoup, ainsi que cela se voit nettement chez l'*Hottonia palustris* (pl. XV, fig. 11 et 12), le *Trapa natans* et le *Myriophyllum spicatum* (pl. XV, fig. 10). Non seulement les vaisseaux sont peu nombreux, mais les faisceaux

sont peu volumineux. Cela tient au faible développement de la partie centrale de la tige aquatique.

La réduction de la moelle ou du cylindre central peut être relative ou absolue; c'est-à-dire qu'en comparant des régions voisines ou d'âges différents, l'épaisseur absolue de la moelle peut être plus grande dans la tige aquatique que dans la tige aérienne, mais son épaisseur relativement à l'écorce reste toujours moindre dans la première. Le rapport de la moelle à l'écorce est plus petit chez les tiges aquatiques. Ainsi j'ai mesuré pour quelques plantes le rapport du cylindre central à l'écorce des deux sortes de tiges.

NOMS DES ESPÈCES.	TIGES AÉRIENNES.			TIGES AQUATIQUES.		
	Écorce = e.	Cylindre central = c.	Rapport c/e	Écorce = e'.	Cylindre central = c'.	Rapport c'/e'
Hippuris vulgaris..........	45	25	0,5	65	30	0,46
Bidens tripartita..........	22	150	6,8	65	220	3,3
Polygonum amphibium.....	20	250	12,5	25	210	8,4
Ranunculus aquatilis.......	20	90	4,5	90	20	0,2
Hottonia palustris.........	2	31	15,5	18	5	0,3
Equisetum palustre........	70	83	1,2	88	50	0,5

On voit que, même dans les deux premiers cas où l'écorce et le cylindre central s'accroissent à la fois, le rapport $\frac{c}{e}$ est toujours plus grand que le rapport $\frac{c'}{e'}$. Ainsi, dans tous les cas, le rapport de la moelle à l'écorce diminue dans les tiges aquatiques.

Le résultat précédent, qui s'accorde avec les faits établis par l'expérience, montre donc que, dans une tige aquatique de l'*Hottonia palustris* (pl. XV, fig. 11) ou du *Ranunculus aquatilis*, il existe non un faisceau axial, mais un cylindre central

dont le diamètre est réduit par suite d'un long séjour de cet axe dans l'eau. La structure de ces tiges submergées se ramène donc au type normal, en tenant compte de l'influence du milieu.

En résumé, les faisceaux des plantes amphibies conservent dans l'eau leur organisation aérienne type quand elles ont seulement leur base plongée dans ce liquide; on y voit les fibres et les vaisseaux persister en grand nombre. Mais déjà, dans ce cas, il suffit de contraindre la plante à croître dans des eaux profondes pour que les éléments fibreux et vasculaires se réduisent beaucoup. Chez les plantes nettement aquatiques, la structure est tout à fait différente par suite de la disparition des fibres et la diminution des vaisseaux; ces derniers finissent même par disparaître complètement dans certaines espèces, comme l'*Aldrovandia*, qui n'a plus de vaisseaux qu'aux entrenœuds. Pour ces derniers végétaux, la dégradation persiste à l'air si la plante vient émerger très peu au-dessus de l'eau au moment de la floraison. En un mot, on ne retrouve pas chez les plantes aquatiques le passage brusque d'une structure à une autre que l'on observe chez les plantes terrestres au point de passage de la tige aérienne à la tige souterraine.

Hérédité. — Les transformations énumérées précédemment ont été indiquées par l'expérience; n'en existe-t-il pas que cette dernière ne fait pas prévoir?

Quoique les modifications dues à l'action de l'eau soient très manifestes chez le *Ranunculus aquatilis*, il y existe cependant des différences purement morphologiques entre la tige aquatique et le pédoncule floral aérien. Ainsi l'endoderme de la tige florale entoure complètement chaque faisceau au lieu de contourner tout le cylindre central, comme cela a lieu pour la tige submergée. Une telle variation dans l'organisation d'une assise aussi importante ne peut être regardée comme due au changement de milieu. La tige et le pédoncule sont deux organes ayant des rôles différents à rem-

plir; il n'est pas étonnant que leur structure ne soit pas la même.

J'ai en outre souvent constaté que, dans un même milieu, aérien ou aquatique, la structure d'une tige peut présenter des variations très accusées. Dans l'air, c'est un fait très commun : un pédicelle floral de l'*Hottonia palustris* n'a pas la même organisation que le pédoncule qui supporte toutes les fleurs, quoique tous les deux soient dans le même fluide. L'écorce est beaucoup plus développée et la moelle beaucoup plus réduite dans la première tige que dans la seconde. C'est une différenciation morphologique : la première tige porte des pédicelles, la seconde porte une fleur.

Ce n'est pas seulement dans l'air qu'on peut observer de pareils changements : des tiges uniquement plongées dans l'eau peuvent présenter des structures différentes à des profondeurs diverses. La tige aquatique du *Trapa natans* est formée exclusivement de tissu mou, elle ne peut donc pas se dresser vers la surface de l'eau; aussi c'est grâce seulement à l'accroissement des lacunes de la tige et au boursouflement des pétioles des feuilles supérieures limbées que la tige s'élève pour former ses fleurs à l'air. C'est donc afin que la reproduction puisse se faire que l'écorce se creuse de lacunes puissantes disposées sur quatre ou cinq cercles dans la partie supérieure de la tige, tandis qu'il n'y en a que deux dans la région profonde. En outre, la moelle, compacte dans cette dernière, est creusée de grandes lacunes dans la première; ces lacunes médullaires communiquent alors avec celles de l'écorce, de sorte que les faisceaux de la partie aquatique supérieure sont isolés, tandis que le cylindre central est indivis dans la région profondément submergée.

De telles modifications, se produisant dans un même milieu à des hauteurs diverses, montrent combien il était indispensable, en commençant ces recherches, de bien établir expérimentalement comment le séjour d'une plante dans l'eau peut la modifier. Cette première étude permet seule de conclure ce qui est sous la dépendance du milieu; c'est elle qui autorise,

dans le cas de l'espèce précédente, à regarder le faible développement du système vasculaire et la grande importance des lacunes des régions profondément submergées comme produits par le séjour de cette tige dans l'eau.

De la comparaison des tiges aériennes et aquatiques, il résulte qu'on peut trouver entre elles les différences que l'expérience indique, et dues par conséquent au maintien dans l'eau. A côté de celles-ci, il peut en exister d'autres qui tiennent à des fonctions diverses que remplissent les parties comparées; elles n'ont point pour cause l'action du milieu.

II. — Comparaison des tiges aquatiques et souterraines.

Après avoir étudié comment le séjour dans l'eau modifie les végétaux, soit amphibies, soit exclusivement aquatiques, il faut rechercher maintenant quelles transformations subissent les parties des tiges de ces plantes qui restent enterrées dans le sable ou la vase limoneuse formant le sol qu'on trouve au fond de l'eau. On peut, à l'aide de cette étude complémentaire, assister à tous les changements que subit un même axe en traversant les trois milieux : terrestre, aquatique et aérien.

Quoique l'étude des tiges souterraines ait été faite pour les plantes terrestres, il y a lieu de reprendre cette question pour les plantes aquatiques; en effet, le milieu n'est pas identique dans les deux cas : la terre compacte et ferme dans laquelle se développent les premières n'est pas semblable au sol vaseux, imbibé d'eau, dans lequel se propagent les secondes. Ces deux sortes de rhizomes doivent avoir de nombreux points communs, car l'aspect extérieur est le même chez les uns et les autres; les tiges, d'abord blanches, à feuilles écailleuses (ainsi que cela se voit bien pour l'*Hippuris vulgaris* et le *Sagittaria sagittifolia*), deviennent rougeâtres en vieillissant. C'est de l'examen des caractères spéciaux de ces rhizomes aquatiques que je vais surtout m'occuper.

Cette étude a une application, elle permet de comprendre

la structure des plantes marécageuses qui, bien que terrestres, ont leur rhizome plongé dans un sol imprégné d'eau comme celui dans lequel s'accroissent les tiges souterraines des plantes aquatiques. L'examen de cette question doit être précédé de l'exposé des différences qui existent entre les tiges aquatiques et souterraines dans l'écorce et dans les faisceaux.

1° *Lacunes corticales.* — Les lacunes caractérisent, ainsi qu'on l'a vu, les végétaux qui vivent dans l'eau; elles persistent dans leurs tiges souterraines, où elles ont cependant une moindre importance que dans les tiges aquatiques. Il est curieux de voir l'écorce d'une même tige présenter trois aspects différents dans la région aérienne, dans la région aquatique et dans la région terrestre. Chez le *Veronica scutellata*, dans la première région, l'épaisseur de ce tissu est faible et les lacunes nombreuses (pl. XVII, fig. 24); le volume des cavités à air devient considérable dans la portion aquatique (pl. XVII, fig. 25) et cet accroissement détermine un épaississement général de l'écorce; enfin, dans la portion souterraine, les espaces intercellulaires ainsi que l'écorce diminuent sans cependant devenir aussi faibles que dans la première région (fig. 26). La tige enterrée est donc intermédiaire, au point de vue précédent, entre les tiges aérienne et aquatique; la terre est tellement imprégnée d'eau, que la plante s'y développe presque comme dans ce liquide.

Chez le *Myriophyllum spicatum*, la partie enterrée de la tige (pl. XV, fig. 9) possède un cercle de lacunes comme la région aquatique (fig. 10), mais leur volume est moindre que chez cette dernière.

Les gros rhizomes du *Nuphar luteum* présentent, en dedans d'une couche collenchymateuse externe, un parenchyme cortical creusé de cavités de capacité assez faible; comme précédemment, les lacunes correspondantes du pédoncule floral sont bien plus grandes. Il y a donc des espaces aérifères dans ces tiges souterraines; or on sait que les plantes terrestres n'offrent jamais de semblables cavités dans leur

région enterrée. Leur existence dans le cas présent ne peut s'expliquer que par l'action du milieu moitié aquatique, moitié terrestre dans lequel s'allongent ces rhizomes.

La partie souterraine du *Caltha palustris* se rapproche plus des tiges souterraines des plantes terrestres et des Renonculacées en particulier. Il n'existe, à proprement parler, dans l'écorce que des méats intercellulaires ; ce parenchyme cortical est en outre puissamment développé, comme dans les autres tiges qui vivent sous le sol. On trouve au contraire, dans la base aquatique de cette plante, de véritables lacunes, séparées entre elles par des cloisons formées d'un seul plan de cellules.

Le *Ranunculus aquatilis* permet de vérifier le même résultat que les espèces précédentes. J'ai pu en outre constater que, les tiges aériennes de cette plante étant maintenues enterrées au fond de l'eau, l'écorce devient plus épaisse. Ce fait vient montrer que l'accroissement du parenchyme cortical dans les parties souterraines existe pour les plantes aquatiques comme pour les plantes terrestres. Ce résultat ne se manifeste pas quand on compare seulement les régions aquatiques et souterraines des tiges, car les nombreuses lacunes formées dans la première déterminent un grand accroissement cortical qui empêche de constater un épaississement bien net dans la partie enterrée. Cependant, si l'on compare les épaisseurs de ce tissu dans les deux portions de la tige avant l'apparition des lacunes, c'est l'écorce de la partie rhizomateuse qui est la plus épaisse, ainsi que je l'ai observé chez le *Solidago glabra*, dont la base de la tige était plongée dans l'eau.

La même augmentation du parenchyme cortical se retrouve également dans la partie souterraine de la tige du *Nasturtium officinale;* en même temps que cette modification s'opère, les angles de la tige s'atténuent, et finissent par disparaître presque complètement.

On observe donc, dans les parties terrestres des plantes aquatiques, l'accroissement ordinaire de l'écorce ; cette région se creuse en outre de lacunes par suite de l'action du milieu en partie aquatique dans lequel se trouvent ces rhizomes.

2° *Suber*. — Une couche subéreuse apparaît rapidement à la périphérie des tiges souterraines des plantes qui vivent dans les terrains secs; le même fait s'observe également dans les rhizomes des plantes aquatiques. Ce n'est pas toujours une couche subéreuse qui se forme à l'origine, l'épiderme seul peut se subérifier (*Nasturtium officinale*); la subérine ne tarde pas alors à envahir le parenchyme cortical.

D'autres fois une véritable couche subéreuse se produit dans le rhizome (*Caltha palustris*), tandis qu'aucun appareil de protection analogue n'est visible dans le bas de la tige aquatique. Il existe de même, à la périphérie des gros rhizomes du *Nuphar luteum*, une couche génératrice peu active dont les deux assises les plus externes sont imprégnées de subérine.

L'importance du tissu protecteur est donc moins grande que chez les rhizomes des plantes terrestres; souvent l'épiderme seul est subérifié (*Myriophyllum spicatum*, *Helosciadium inundatum*), et, quand une couche génératrice se forme, elle n'acquiert de véritable puissance que chez les plantes amphibies. Il est vraisemblable que le sol très humide dans lequel se propagent ces rhizomes offrant moins de résistance à leur marche, les assises externes sont moins fréquemment déchirées.

3° *Collenchyme*. — Le tissu collenchymateux disparaît presque constamment chez les tiges souterraines des plantes terrestres après un plus ou moins long séjour sous le sol. Les plantes aquatiques subissent également cette modification. Une tige souterraine de l'*Helosciadium inundatum*, qui est beaucoup plus âgée que la tige aquatique, ne présente pas de collenchyme dans l'écorce, tandis que cette dernière en offre en face des faisceaux.

Cependant la disparition de ces cellules à parois épaissies ne s'effectue pas toujours avec la même uniformité et la même universalité que chez les plantes exclusivement terrestres; en effet, toute la périphérie du rhizome du *Nuphar luteum* présente du tissu collenchymateux.

4° *Endoderme.* — On sait que l'endoderme est une assise de cellules dont le milieu des parois latérales est légèrement subérifiées. Or une membrane subérifiée est moins extensible qu'une paroi restée purement cellulosique ; c'est ce qui a fait penser à M. Schwendener (1) que les plissements de l'endoderme, qui se produisent latéralement, sont dus à la contraction de ces parois non élastiques ; la région subérifiée étant rigide, ne pouvant se contracter comme le reste des parois cellulosiques, il en résulte un plissement. Cette hypothèse peut permettre d'expliquer un certain nombre de faits que l'on constate souvent en étudiant cette membrane. D'abord les plissements n'existent pas toujours sur les parois : ainsi, dans le pédoncule floral du *Nuphar luteum*, on ne reconnaît pas l'endoderme, tandis que cette assise est très nette dans la partie rhizomateuse (pl. XVII, fig. 29 et 30, *end*) ; c'est que la subérification s'est produite seulement dans cette dernière région. Si la subérine, cantonnée d'abord sur le milieu de la paroi latérale, s'étend sur toute la surface de toutes les cloisons de l'endoderme, l'ensemble de ces cellules offre plus de résistance à la contraction ; aussi les plissements ne se produisent-ils pas dans ce cas. Ce fait peut être observé chez l'*Helosciadium inundatum* (pl. XVI, fig. 20 et 21) ; les plissements y sont seulement visibles sur la section transversale du faisceau de la tige aquatique ; il n'y en a pas dans la partie souterraine, dont toutes les parois sont subérifiées.

En rapprochant les faits précédents de ceux qui ont été observés plus haut relativement à la production de la subérine, on voit que cette substance se produit difficilement dans les tiges aquatiques, aussi bien dans les assises externes protectrices que sur les parois de l'endoderme. La lignine se forme également avec difficulté dans cette région, ainsi qu'on va le constater.

5° *Vaisseaux et fibres.* — J'ai montré dans la partie expéri-

(1) *Die Schutzscheiden und ihre Verstärkungen* (*Abhandl. der K. Akad. der Wissensch. zu Berlin*, 1882).

mentale que le nombre des vaisseaux d'un faisceau ou du cylindre central entier d'une tige maintenue souterraine est plus élevé que celui d'une tige maintenue dans l'eau. La comparaison de la partie aquatique avec la région enterrée du *Myriophyllum spicatum* confirme les résultats de l'étude expérimentale, car les vaisseaux sont bien plus nombreux dans cette dernière partie que dans la première (pl. XV, fig. 9 et 10). La différenciation du liber est également plus avancée, les groupes de petites cellules sont plus nombreux que dans la tige qui est restée sous le sol. Il est curieux de voir que la tige aquatique est plus dégradée que la tige souterraine au point de vue du nombre des éléments conducteurs, surtout quand on se rappelle que cette dernière est elle-même moins différenciée que la tige aérienne.

Les mêmes différences, quoique moins accusées, sont encore sensibles chez l'*Helosciadium inundatum*. Il se produit dans les deux tiges un canal sécréteur contre l'endoderme, comme dans les tiges du *Sium angustifolium*. Ce canal sécréteur (pl. XVI, fig. 20 et 21) persiste donc indépendamment de toute action de milieu.

Dans le pédoncule floral du *Nuphar luteum* qui se développe sous l'eau, il n'existe qu'un petit nombre de vaisseaux dans un faisceau (pl. XVII, fig. 29) ; une grande lacune circulaire existe à la pointe interne, bordée régulièrement par un cercle de cellules semblables. Le faisceau du rhizome a une structure très différente, la lacune précédente n'y existe pas, et il est entouré complètement par un endoderme qui offre ses plissements caractéristiques. Les vaisseaux de ce faisceau sont nombreux, et, comme cela arrive le plus souvent dans les tiges qui s'accroissent sous le sol, les vaisseaux sont isolés les uns des autres par un parenchyme non lignifié (pl. XVII, fig. 30). Le système vasculaire est donc bien plus développé dans le rhizome que dans la tige aquatique.

La partie souterraine de la tige du *Caltha palustris* possède de très grands faisceaux libéro-ligneux. Le liber, exclusivement mou, est formé en grande partie de cellules tabulaires

disposées les unes derrière les autres en série radiale : ce sont les cellules de la couche génératrice cambiale, qui ont gardé leur forme initiale sans subir de nouvelles divisions. Le faisceau ligneux est composé de très nombreux vaisseaux lignifiés, entremêlés de parenchyme à parois minces. Ce qui caractérise donc ce faisceau libéro-ligneux, c'est l'absence de tout élément fibreux et la prédominance du parenchyme; ce n'est pas seulement dans le faisceau que les fibres manquent, car tout le tissu qui l'entoure reste mou. Il n'en est pas ainsi de la tige aquatique; les faisceaux y sont d'abord moins volumineux et les vaisseaux y sont bien moins nombreux; ensuite une gaine de cellules légèrement lignifiées existe tout autour de chaque faisceau; les parois des cellules de cet étui deviennent très épaisses dans la région externe et se confondent avec un groupe important de fibres libériennes. Les fibres, qui manquent dans la tige souterraine, sont donc très nombreuses dans la région aquatique.

Un résultat semblable s'observe pour le *Nuphar luteum*, car on voit dans la partie libérienne la première indication de cellules à parois légèrement épaissies. Ces cellules constituent les premiers rudiments d'un système de soutien (pl. XVII, fig. 29 *f*).

En somme, les développements des éléments de soutien et des éléments vasculaires sont inverses l'un de l'autre dans les deux régions aquatique et souterraine de la tige; quand on compare successivement la première à la seconde, on voit les vaisseaux devenir plus nombreux et les fibres diminuer et même disparaître complètement.

Rhizomes des plantes de marécage. — Les plantes presque terrestres, dont les rhizomes se développent dans un sol très humide, doivent offrir de grandes analogies de structure dans leurs parties souterraines avec celles des végétaux aquatiques.

La tige dressée de ces plantes étant constamment aérienne, sa structure rappelle nettement celle de la région correspondante des plantes terrestres; c'est ce que j'ai pu constater sur un pied de *Lysimachia vulgaris* uniquement aérien. Il n'y a,

en effet, aucune lacune dans l'écorce; le système fibreux, extrêmement développé tout autour des faisceaux libéro-ligneux, forme un anneau de tissu lignifié reliant les faisceaux entre eux et les englobant, ainsi que c'est le cas le plus fréquent dans les tiges aériennes des plantes terrestres (pl. XVII, fig. 27). Quand on examine la partie souterraine, la structure se modifie complètement : on retrouve bien l'organisation d'une partie enterrée, car l'écorce est énorme (pl. XVII, fig. 28, *pc*); le système fibreux a presque totalement disparu et n'est plus représenté que par quelques fibres libériennes isolées; un seul des caractères des plantes aquatiques s'y retrouve, c'est la présence des lacunes dans l'écorce.

Dans le rhizome d'un *Littorella lacustris*, j'ai constaté de même que l'écorce considérable est creusée de lacunes et que le cylindre central présente une grande prédominance des éléments parenchymateux.

Ces exemples montrent donc bien que c'est à la présence d'une quantité surabondante d'eau dans le sol que tiennent les différences qui existent entre les rhizomes de ces derniers végétaux et ceux des plantes terrestres. L'eau, dans ce cas, agit encore comme à l'ordinaire sur les tiges aquatiques, et détermine l'apparition dans les tiges souterraines de caractères propres surtout aux régions submergées.

CONCLUSIONS :

Après avoir établi expérimentalement, dans la première partie de ce mémoire, comment le séjour d'une tige dans l'eau, dans l'air ou en terre la modifie, j'ai cherché à retrouver les transformations précédentes sur un même axe divisé en trois parties plongées en des milieux différents.

De l'examen comparatif des régions aquatiques et aériennes, il résulte que chez les premières :

1° *Les lacunes sont plus développées;*

2° *Le système vasculaire se réduit et les vaisseaux s'élargissent;*

3° *Le tissu fibreux et le collenchyme diminuent d'importance, mais persistent longtemps dégradés;*

4° *Les ponctuations endodermiques peuvent y être bien visibles, même quand elles manquent dans la tige aérienne.*

L'expérience ayant prouvé que le séjour dans l'eau détermine un accroissement des lacunes, il en résulte donc que le volume de ces cavités doit varier dans une même tige plongée en partie dans l'air, en partie dans l'eau; c'est ce que les conclusions précédentes établissent. Les tissus vasculaires, fibreux et collenchymateux doivent se comporter différemment; ils diminuent en effet quand les lacunes augmentent.

La comparaison des tiges aquatiques avec les tiges souterraines montre que pour ces dernières :

1° *Les lacunes sont moins puissantes;*

2° *Le système vasculaire est un peu plus développé;*

3° *Les fibres et le collenchyme disparaissent presque complètement;*

4° *Les assises périphériques se subérifient;*

5° *L'endoderme est plus différencié.*

Ainsi que l'expérience le faisait prévoir, le système vasculaire est moins développé dans la partie aquatique que dans la région souterraine. C'est là un résultat curieux, qui montre que si l'on classe les trois portions différentes de la tige d'après le plus grand développement des vaisseaux, la région aquatique doit être placée au troisième rang. Les appareils de soutien étant au contraire plus importants dans la tige aquatique que dans la tige souterraine, une classification faite d'après la puissance du système fibreux ou collenchymateux ferait ranger les tiges aquatiques au second rang.

L'étude précédente montre en outre que les caractères produits dans les tiges par le milieu liquide peuvent persister, tout en s'atténuant, dans les parties aériennes et souterraines. Ces caractères se maintiennent avec persistance, surtout dans ce dernier cas, parce que le milieu dans lequel se propagent les rhizomes est moitié souterrain, moitié aquatique. On les retrouve également dans les régions aériennes, principalement

lorsque la tige apparaît dans ce nouveau milieu seulement pour y fleurir. Les plantes amphibies au contraire conservent en partie leur structure aérienne dans la région aquatique, quand leur base seule est plongée dans l'eau; mais, si ces végétaux se développent dans les eaux profondes, leur organisation se dégrade complètement. La structure des plantes aquatiques ne change donc pas aussi brusquement que celle des plantes terrestres; les transitions, qui manquent presque totalement chez ces dernières, sont au contraire très nombreuses pour les végétaux qui font l'objet du présent mémoire.

L'expérience se trouve confirmée par les résultats obtenus dans cette dernière partie; cette étude préliminaire pourrait donc sembler peu utile, si la nécessité n'en était établie par cette observation, que la structure d'une tige peut varier dans un même milieu. Il peut y avoir en effet, entre les tiges développées en des milieux distincts, des différences indépendantes de l'action de l'eau, et qui tiennent à des fonctions diverses remplies par ces deux parties. L'expérience seule donne donc les preuves définitives de l'influence des milieux; mais il est intéressant de voir que la méthode véritablement démonstrative conduit aux mêmes conclusions générales que l'*anatomie comparative* des différentes parties d'une même tige ou que l'*anatomie comparée* d'espèces diverses développées dans un même milieu.

(Ce travail a été fait au laboratoire des recherches botaniques de l'École normale supérieure.)

EXPLICATION DES FIGURES.

PLANCHE 14.

Fig. 1. *Peplis Portula.* — Tige aquatique : *ep*, épiderme ; — l_1, grandes lacunes ; l_2, lacunes des rayons ; — *end*, endoderme ; — *li*, liber ; — *b*, vaisseaux du bois ; — *m*, moelle.

Fig. 2. *Peplis Portula.* — Tige aérienne : Mêmes lettres.

Fig. 3. *Callitriche stagnalis.* — Tige aquatique : Mêmes lettres ; — *l*, lacunes corticales ; — *lm*, lacune médullaire ; — *pc*, parenchyme cortical.

Fig. 4. *Callitriche stagnalis.* — Tige aérienne : Mêmes lettres ; — *fl*, éléments fibreux.

Fig. 5. *Nasturtium officinale.* — Tige aquatique : Mêmes lettres que pour l'espèce précédente.

Fig. 6. *Nasturtium officinale.* — Tige aérienne : Mêmes lettres ; — *cg*, couche génératrice.

PLANCHE 15.

Fig. 7. *Mentha aquatica.* — Tige aquatique : *ep*, épiderme ; — *col*, collenchyme ; — *l*, lacunes corticales ; — *end*, endoderme ; — *li*, liber ; — *b*, vaisseaux du bois ; — *pn*, parenchyme non lignifié ; — *m*, moelle.

Fig. 8. *Mentha aquatica.* — Tige aérienne : Mêmes lettres ; *p*, poil ; — *fl*, fibres libériennes.

Fig. 9. *Myriophyllum spicatum.* — Tige souterraine : Mêmes lettres ; *tl*, tissu lamelleux.

Fig. 10. *Myriophyllum spicatum.* — Tige aquatique : Mêmes lettres.

Fig. 11. *Hottonia palustris.* — Tige aquatique : Mêmes lettres.

Fig. 12. *Hottonia palustris.* — Tige aérienne : Mêmes lettres ; — *af*, anneau fibreux ; — *pn*, parenchyme non lignifié.

Fig. 13. *Nasturtium amphibium.* — Tige aérienne : Mêmes lettres ; — *fl*, fibres libériennes ; — *f*, cellules lignifiées.

PLANCHE 16.

Fig. 14. *Nasturtium amphibium.* — Tige aquatique : *ep*, épiderme ; — *pc*, parenchyme cortical ; — *l*, lacunes corticales ; — *end*, endoderme ; — *li*, liber ; — *fl*, fibres libériennes ; — *cg*, couche génératrice ; — *b*, vaisseaux du bois ; — *pn*, parenchyme non lignifié ; — *f*, cellules lignifiées.

Fig. 15. *Veronica Anagallis.* — Tige aquatique : Mêmes lettres.

Fig. 16. *Veronica Anagallis.* — Tige aérienne : Mêmes lettres.

Fig. 17. *Ranunculus sceleratus.* — Tige aquatique : Mêmes lettres.

Fig. 18. *Ranunculus sceleratus.* — Tige aérienne : Mêmes lettres ; — *f*, fibres libériennes ; — *g*, gaine fibreuse.

Fig. 19. *Ranunculus sceleratus.* — Faisceau de la tige aquatique : *f*, fibres libériennes ; — *li*, liber mou ; — *cg*, couche génératrice ; — *b*, vaisseaux du bois ; — *pn*, parenchyme non lignifié ; — *g*, gaine fibreuse.

Fig. 20. *Helosciadium inundatum.* — Tige souterraine : Mêmes lettres; — *cs*, canal sécréteur.

Fig. 21. *Helosciadium inundatum.* — Tige aquatique : Mêmes lettres; — *col*, collenchyme ; — *cs*, canal sécréteur.

PLANCHE 17.

Fig. 22. *Equisetum palustre.* — Tige aquatique : *ep*, épiderme ; — *pe*, parenchyme cortical; — *l*, lacunes corticales; — *end*, endoderme; — *li*, liber mou ; — *v*, vaisseaux du bois ; — *lv*, lacune vasculaire ; — *rm*, rayons médullaires ; — *m*, moelle.

Fig. 23. *Equisetum palustre.* — Tige aérienne : Mêmes lettres ; — *st*, stomate ; — *col*, collenchyme; *ap*, assise périphérique.

Fig. 24. *Veronica scutellata.* — Tige aérienne : Mêmes lettres.

Fig. 25. *Veronica scutellata.* — Tige aquatique : Mêmes lettres.

Fig. 26. *Veronica scutellata.* — Tige souterraine : Mêmes lettres.

Fig. 27. *Lysimachia vulgaris.* — Tige aérienne : Mêmes lettres ; — *af*, anneau fibreux.

Fig. 28. *Lysimachia vulgaris.* — Tige souterraine : Mêmes lettres ; — *fl*, fibres libériennes ; — *m*, moelle.

Fig. 29. *Nuphar luteum.* — Tige aquatique, faisceau : — *col*, collenchyme; — *f*, éléments fibreux ; — *v*, vaisseaux ; — *l*, lacune fasciculaire ; — *l*, lacune du tissu fondamental.

Fig. 30. *Nuphar luteum.* — Tige souterraine, faisceau : — *end*, endoderme ; — *v*, vaisseaux; — *li*, liber.

TABLE DES ARTICLES

CONTENUS DANS CE VOLUME.

ORGANOGRAPHIE, ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES.

PALÉONTOLOGIE VÉGÉTALE.

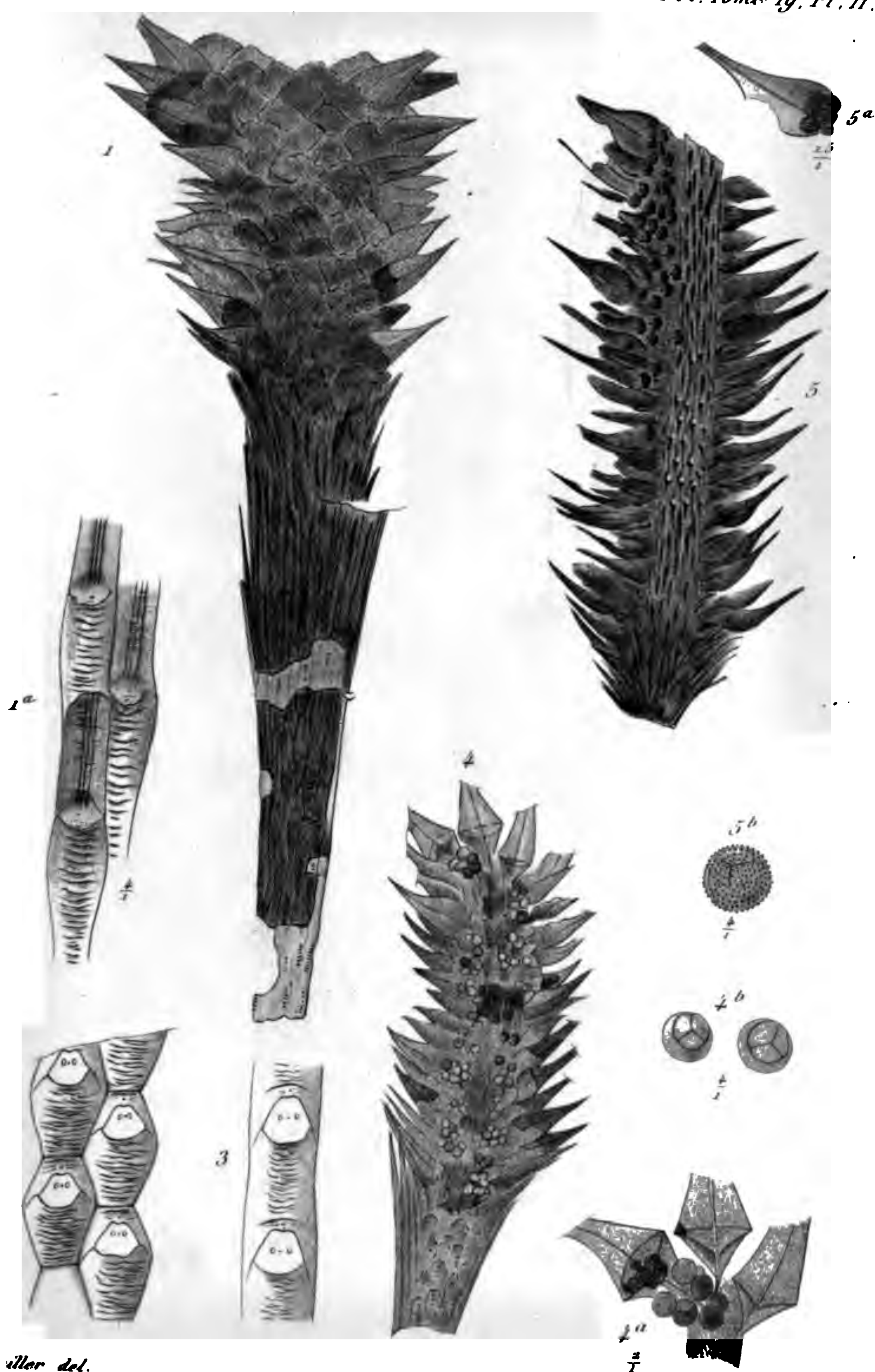
TABLE DES MATIÈRES

PAR NOMS D'AUTEURS.

TABLE DES PLANCHES

FIN DES TABLES.

Bourloton. — Imprimeries réunies, A, rue Mignon, 2, Paris.

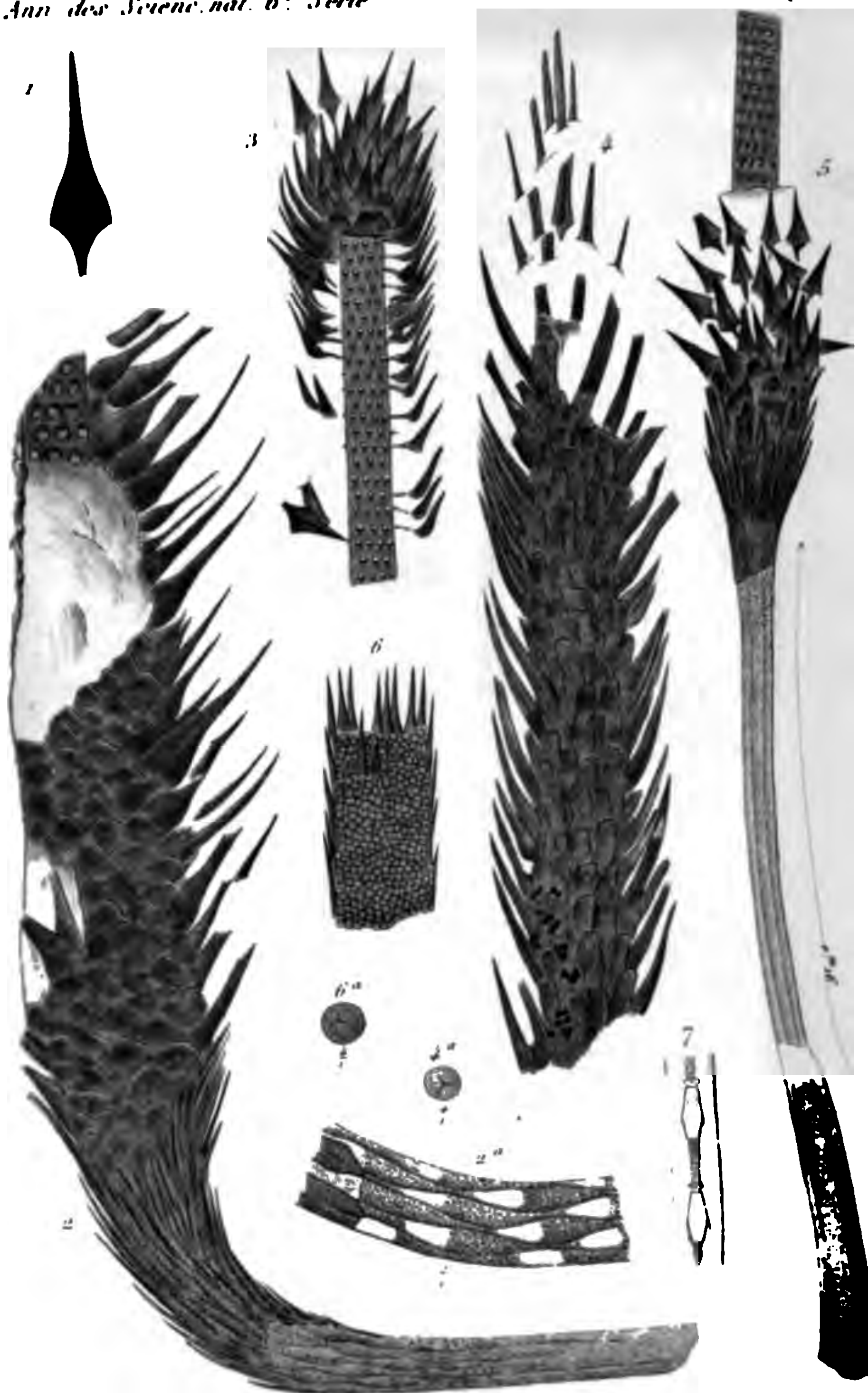


iller del.

Pierre sc.

Cônes de Sigillaires

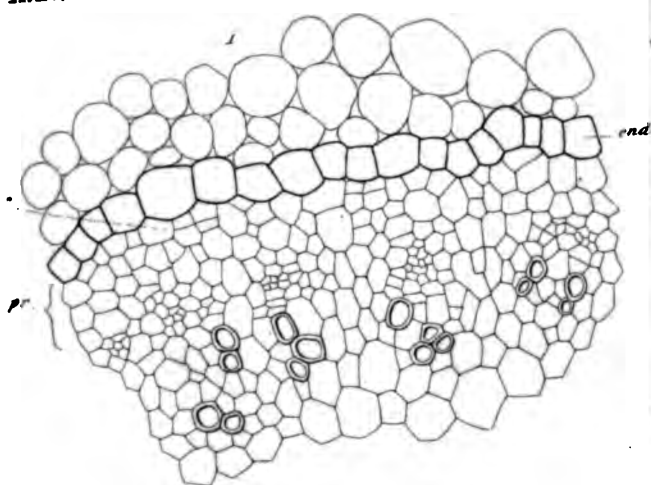
Imp. Lemercier et Cie Paris

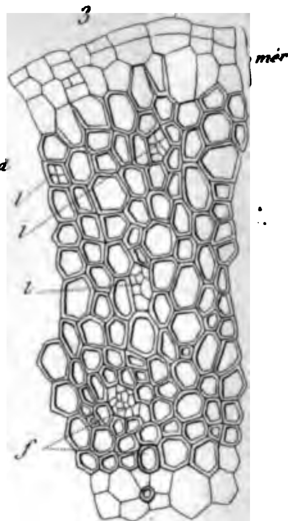


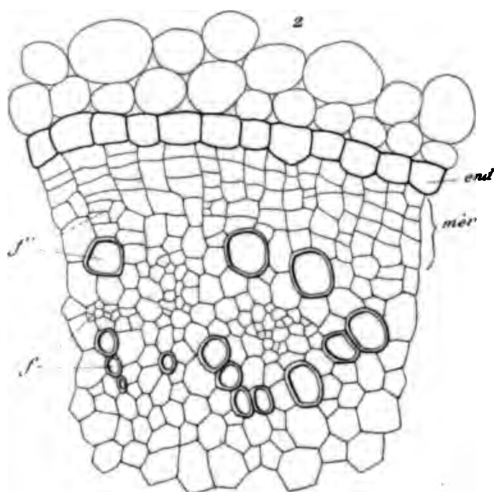
R. Zeiller del.

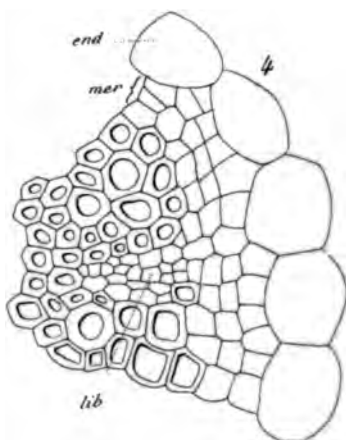
Cônes de Sigillaires

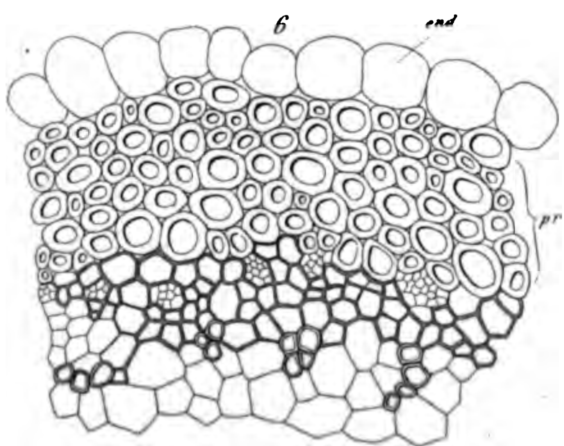
Imp. Lemercier et Cie Paris

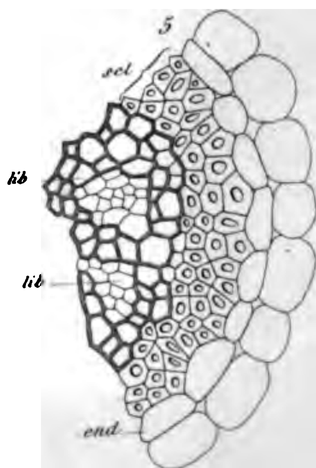








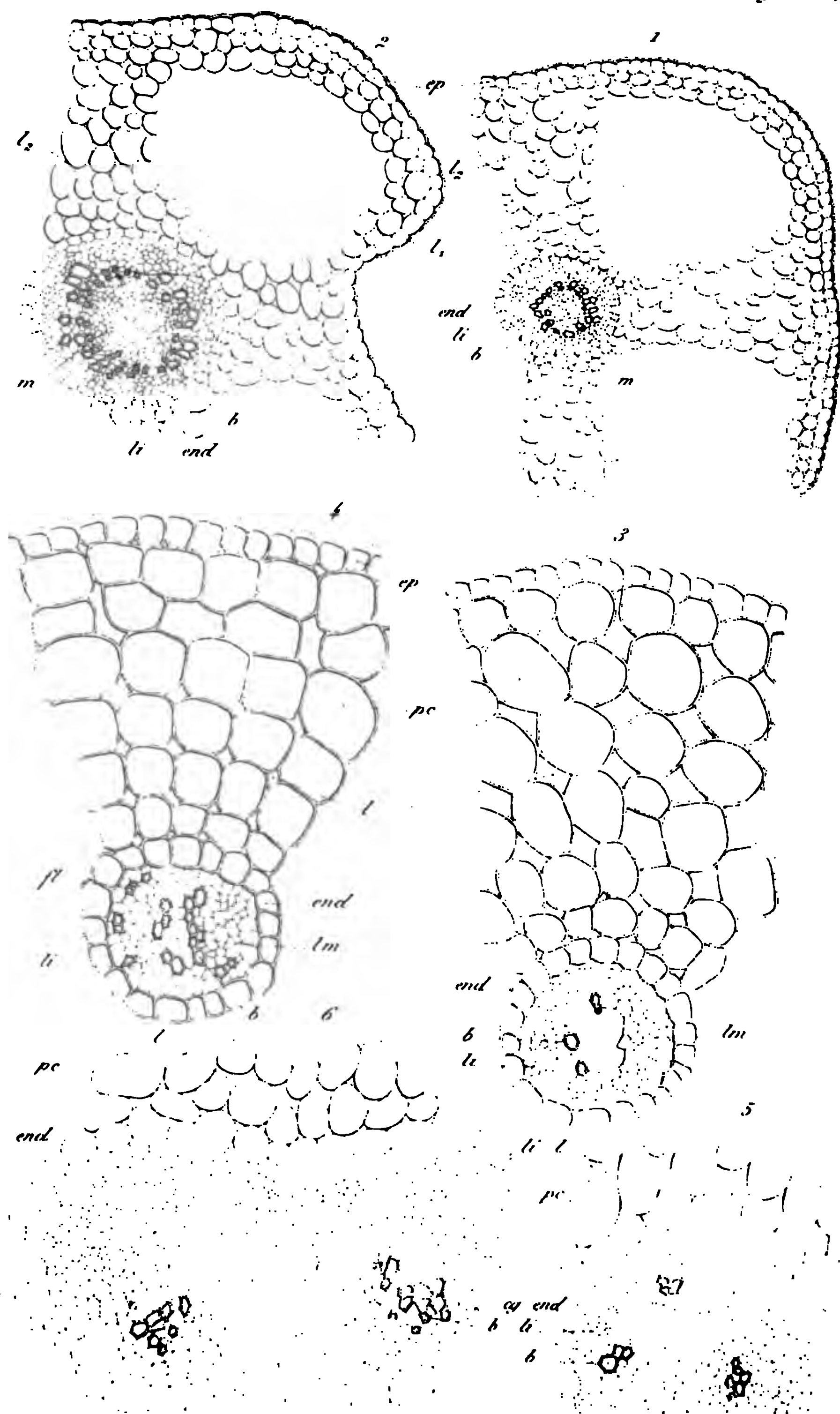




Pierre sc.

L. Morot del.

Anatomie des Stylidiées



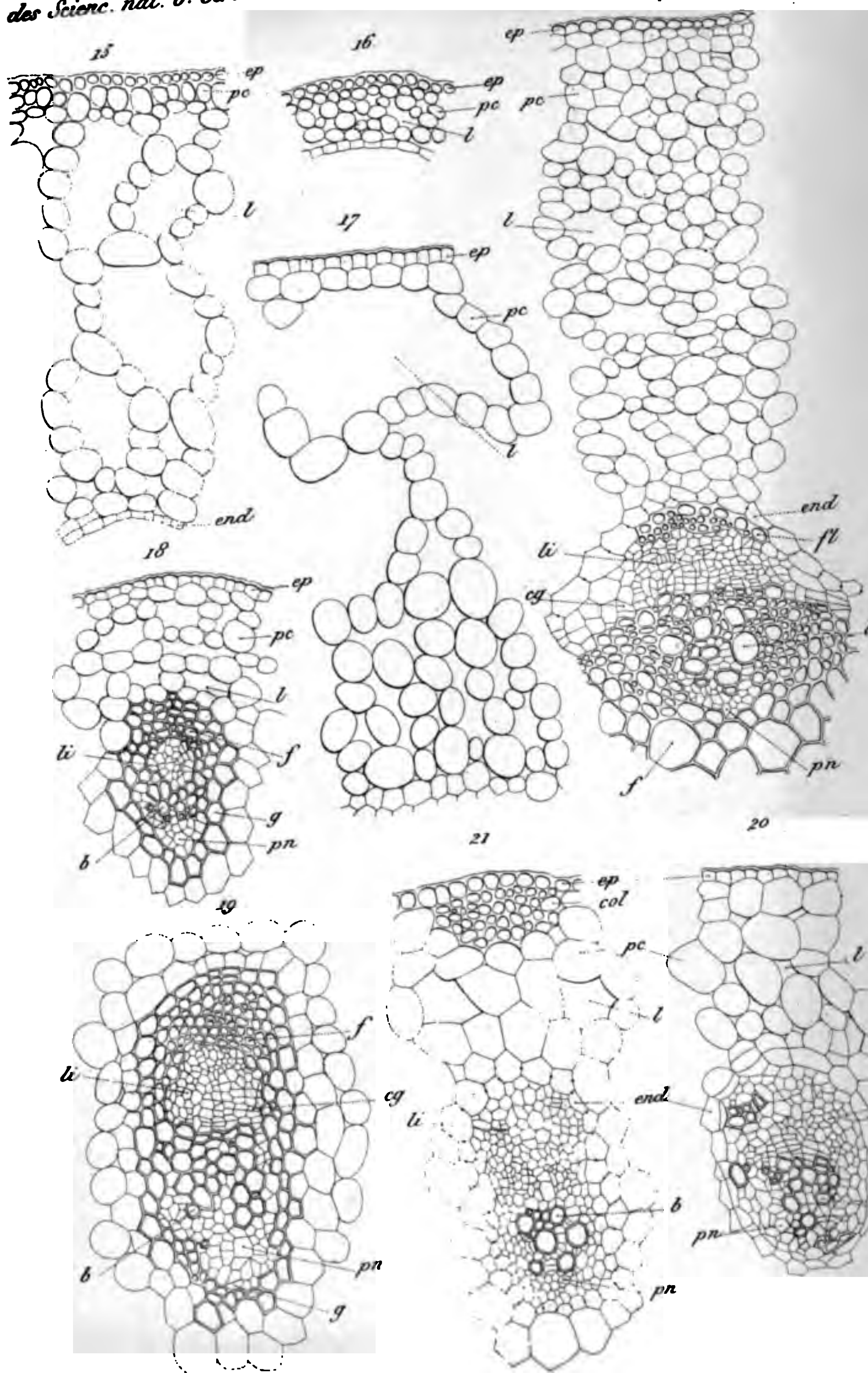
Costantin del. Dufour sc.

Peplis (1, aqua — 2. aër) Callitriche (3, aqua — 4, aër). Nasturtium (5, aqua — 6, aër.)



Costantin del. Dufour sc.

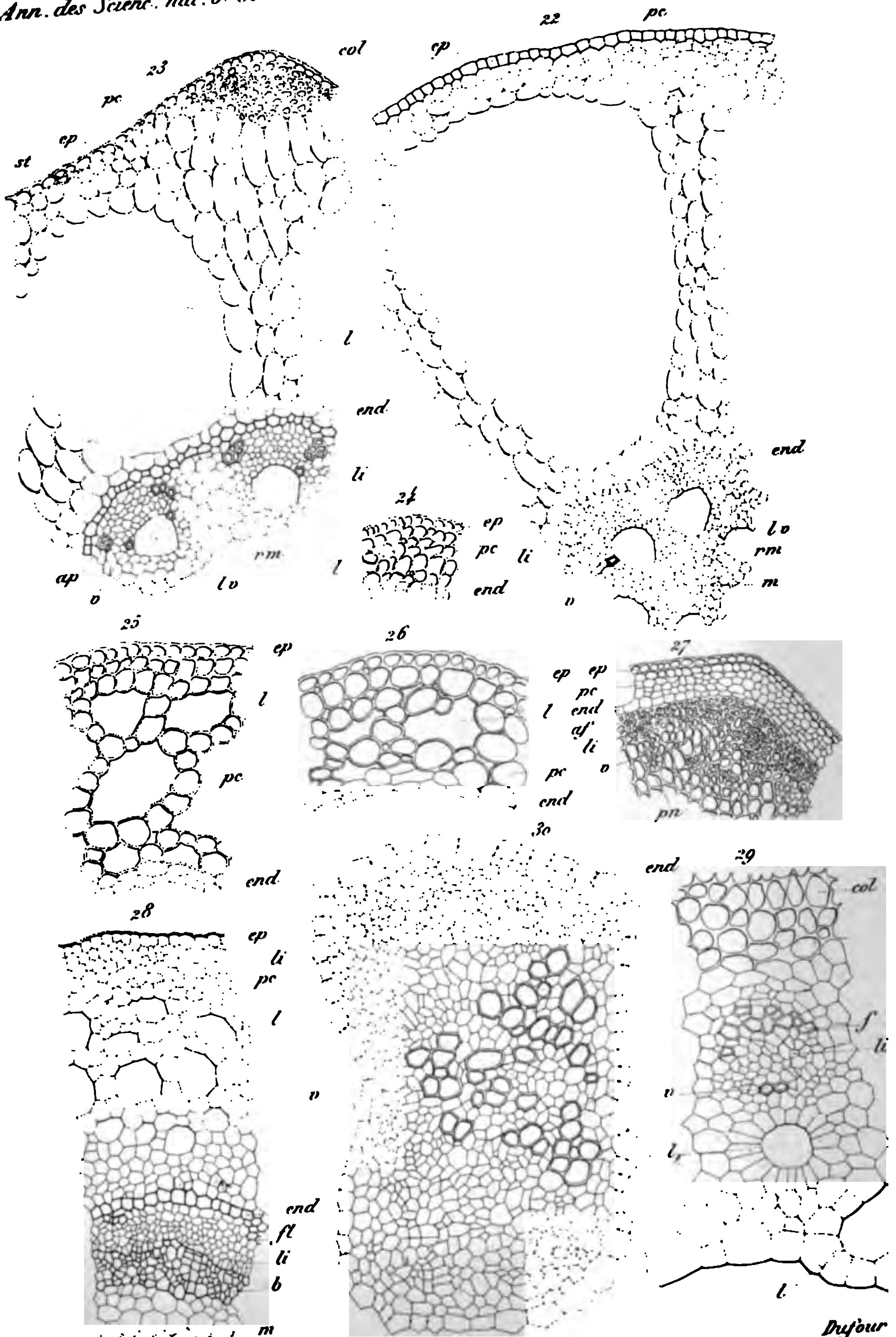
Mentha (7. aqua. – 8. aér.). Myriophyllum (9. souter. – 10. aqua.).
Hottonia (11. aqua. – 12. aér.). Nasturtium (13. aér.).



Costantin del.

Nasturtium (14, aqua.) — *Véronica* (15, aqua. — 16, aér.). ... aqua. — 18, aér.). *Hélosciadium* (20, souter. — ...

Duf...



Costantin del.

Equisetum (22, aqua. 23, aér). *Véronica* (24, aér. 25, aqua. 26, souterr.) *Lysimachia* (27, aér. 28, souterr.) *Nuphar* (29, aqua. 30, souterr.).

